

## System for determining position and velocity of targets from signals scattered by the targets

**Patent number:** SE519089  
**Publication date:** 2003-01-07  
**Inventor:** HELLSTEN HANS  
**Applicant:** TOTALFOERSVARETS FORSKNINGSINS [SE]  
**Classification:**  
 - international: G01S13/00; G01S13/87  
 - european: G01S13/00B; G01S13/87E  
**Application number:** SE20010001661 20010511  
**Priority number(s):** SE20010001661 20010511

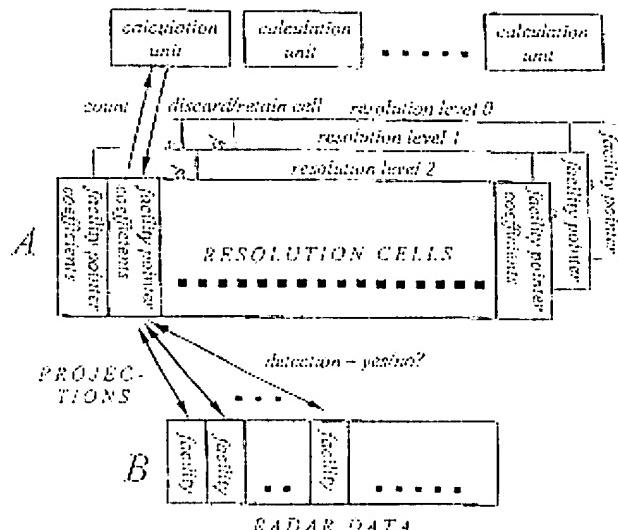
### Also published as:

- WO02093192 (A1)
- EP1395848 (A1)
- US6850186 (B2)
- US2004130480 (A1)
- SE0101661 (L)

Abstract not available for SE519089

Abstract of corresponding document: **US2004130480**

The present invention relates to a system for using signals scattered by targets to determine position and velocity for each of the targets and comprises a set of transmitters and receivers of electromagnetic or acoustic signals, said transmitters and receivers dispersed to known points. Each pair of transmitter and receiver, mono-static or bi-static, is named a measuring facility. The ranges of the transmitters are chosen so that a target at an arbitrary point within the position space can be measured via scattering in the target by at least four, but preferably many more, measuring facilities. For each measuring facility, target detection occurs with constant false alarm rate in the form of probabilities over resolution cells with regards to range and Doppler velocity and conceivable targets are placed in a 2-dimensional linear space of ranges and Doppler velocities, said 2-dimensional linear space belonging to the measuring facility. 3-dimensional positions and 3-dimensional Doppler velocities are represented as a 6-dimensional linear position and velocity space subdivided into resolution cells with the same resolution of range and Doppler velocity that is found at the measuring facilities. For each intersection representing detections at at least 4 measuring facilities the probability is calculated that the intersection is a false alarm emanating from intersections between sub-sets from different targets and when the probability falls below a predefined value, it is given that the intersection contains at least one target. The target positions and target velocities are extracted through this.



**BEST AVAILABLE COPY**

This Page Blank (uspto)

SVERIGE

PATENTSKRIFT

(13) C2 (11) 519 089

(19) SE

(51) Internationell klass 7  
G01S 13/00, 13/87



PATENT- OCH  
REGISTRERINGSVERKET

(45) Patent meddelat 2003-01-07  
(41) Ansökan allmänt tillgänglig 2002-11-12  
(22) Patentansökan inkom 2001-05-11 Ansökan inkommen som:  
(24) Löpdag 2001-05-11  
(62) Stamansökans nummer  
(86) Internationell ingivningsdag  
(86) Ingivningsdag för ansökan om europeisk patent  
(83) Deposition av mikroorganism

(21) Patentansöknings-  
nummer 0101661-7

- svensk patentansökan  
 fullföldt internationell patentansökan med nummer  
 omvälvad europeisk patentansökan med nummer

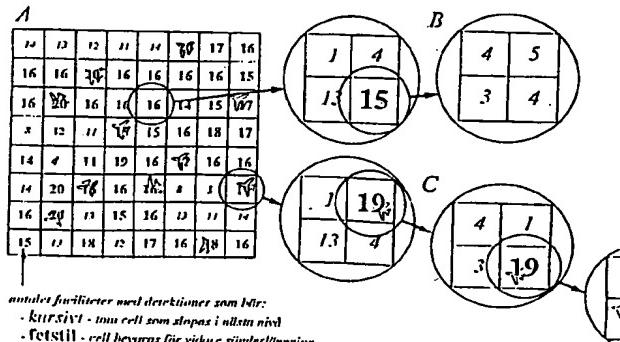
(30) Prioritetsuppgifter

(73) PATENTHAVARE Totalförsvarets forskningsinstitut, 172 90 Stockholm SE  
(72) UPPFINNARE Hans Hellsten, Linköping SE  
(74) OMBUD Försvarets materielverk  
(54) BENÄMNING System för att med från mål spridda signaler bestämma lägen och hastigheter för målen  
(56) ANFÖRDA PUBLIKATIONER: - - -  
(57) SAMMANDRAG:

Föreliggande uppfinning avser ett system för att med från mål spridda signaler bestämma lägen och hastigheter för målen och innehåller en i kända punkter utspredd mängd av sändare och mottagare av elektromagnetiska eller akustiska signaler. Varje par av sändare och mottagare, monostatisch eller bistatisch, benämns en mätfacilitet. Sändarnas räckvidder är valda så att ett mål i en godtycklig punkt inom lägesrummet kan inmätas via spridning i målet av minst fyra, men företrädesvis betydligt fler, mätfaciliteter.

För varje mätfacilitet en sker måldetection med konstant falsklarm nivå i form av sannolikheten över upplösningsceller med avseende på avstånd och Dopplerhastighet och tänkbara mål placeras i ett till mätfaciliteten hörande 2-dimensionellt lineärt rum av avstånd och Dopplerhastigheter. 3-dimensionella lägen och 3-dimensionella Dopplerhastigheter representeras som ett 6-dimensionellt lineärt läges- och hastighetsrum indelat i upplösningsceller med samma avstånds- och Dopplerhastighetsupplösning som återfinns hos mätfaciliteterna.

För varje snitt som representerar detectioner vid minst 4 mätfaciliteter beräknas sannolikheten att snittet är ett falsklarm som uppstått genom snitt mellan delmängder som härrör från olika mål och när sannolikheten underskrider ett förutbestämt värde, anges att snittet innehåller minst ett mål. Mållägen och målhastigheter extraheras härigenom.



This Page Blank (uspto)

- Föreliggande upfinning avser ett system för att från ett eller flera mål spridda
- 5 signaler bestämma läget och hastigheten hos respektive mål. Målen är belägna i ett lägesrum innehållande en i kända punkter i lägesrummet utspridd mängd av sändare och mottagare av elektromagnetiska eller akustiska signaler. Systemet kommer i det följande att diskuteras utifrån en radartillämpning. Uppfinningen är emellertid lika väl ägnad att användas i akustiska system och det är sökandens
- 10 uttalade mening att denna patentansökan skall avse även sådana system. Generellt kan systemet användas i det fall ett mycket stort antal mål skall lägesbestämmas i rummet samt tilldelas sina hastighetsvektorer.

- Dagens radarsystem för övervakning och stridsledning består av ett litet antal lång-räckviddiga och kapabla radarstationer. Dessa system är mycket sårbara, dels genom att radarstationerna relativt lätt kan upptäckas och dels för att de är så få. Uppfinningen avser att förbättra denna situation. Förbättringen består dels av att övervakningsfunktionen är fördelad på ett stort antal utspridda men relativt enkla radarstationer, där vissa kan förloras utan att lägesbilden på ett avgörande sätt
- 20 försämras. Enskilda radarstationer är dessutom små och lättransportabla och kan placeras ut på kort varsel utan omfattande markinstallationer eller andra förberedelser och kan därför inte på förhand utspandas.

- Ett annat motiv till att föreliggande nya radarteknik behövs är att kommande generationers militärflygplan förväntas få allt minskande radartvärsnitt. Redan i dag finns s.k. stealthflygplan som har radartvärsnitt mindre än en tiotusendel av konventionella flygplan. Under de närmaste åren kommer nya typer av militära flygplan bli operativa som har lika små radartvärsnitt men som dessutom är högpresterande avseende fart och svängförmåga. Dessa flygplan kommer till en början att vara få till antalet men på sikt lär tekniken spridas till många flygplanstyper och till många nationers flygvapen.

- Möjligheten till stealthutformning begränsas av grundläggande fysikaliska orsaker. Det ideala stealthflygplanet (något som inte kan konstrueras idag och kanske inte ens i framtiden) har en fullständig elektromagnetisk anpassning till den omgivande lufttrymden så att infallande radarstrålning helt absorberas av flygplanet. Detta innebär att ingen reflektion (eller med andra ord återspridning) i riktningen  $-N$  sker

- oavsett riktningen  $\vec{N}$  för den infallande strålningen. Spridningsfysikaliskt gäller dock att även i detta fall så har flygplanet ett icke-försynnande spridningstvärsnitt i riktningar  $\vec{N}'$  som skiljer sig från återspridningsriktningen  $-\vec{N}$ . I själva verket är spridningstvärsnittet i den förlängda riktningen  $\vec{N}$  för den belysande strålningen 5 oberoende av elektromagnetisk anpassning och stealthformgivning och utgör kvadraten på flygplanets i riktningen  $\vec{N}$  projicerade geometriska tvärsnitt dividerat med våglängden i kvadrat. Runt den i  $\vec{N}$  koncentrerade energispridningen och i vinklar som mycket väl kan vara in emot  $90^\circ$  i förhållande till  $\vec{N}$  kan med lämpligt våglängdsval spridningstvärsnitt förväntas i paritet med de idag rådande för 10 konventionella flygplan.

Som kommer att framgå i detalj i det nedanstående utgår föreliggande förslag från s.k. bistatiska radargeometrier. Genom att dessa kombineras med relativt låga radarfrekvenser (UHF) uppnås de ovan nämnda enkelt mätbara spridningstvär- 15 snitten för stealthflygplan, vilka därmed kan detekteras.

- Den föreslagna tekniken använder ett stort antal radarstationer med relativt kort räckvidd. Stationerna är utspridda över en yta, över och runt vilken man vill kunna upptäcka och mäta in mål. Stationerna skall ha överlappande täckning, så att varje 20 mål detekteras från flera stationer. Enbart avstånds- och Dopplerinformation och alltså inte riktningsinformation utnyttjas för bestämningen av mållägen. Detta innebär att radarantennerna kan göras relativt enkla, utan att man gör avkall på avsökningsskapaciteten eller inmätningsnoggrannheten.

- 25 Genom att kombinera minst tre radarstationer så att minst tre mono- eller bistatiska mätningar av avstånd och nämandehastighet till ett mål erhålls, blir målets 3-dimensionella läge och hastighet entydigt bestämt av mätningarna. Ett speciellt problem är därvid hur samtidig närvaro av fler mål kan hanteras. En korrekt bestämning av måltillstånd kräver i detta fall att man vet vilka mätningar vid de olika 30 radarstationerna som svarar mot ett och samma mål.

- Det inses lätt att om mätningar vid olika radarstationer härrör från olika mål kommer visserligen dessa när de kombineras att unikt bestämma ett målläge och en målhastighet, men detta kommer inte svara mot något verkligt mål. Vid den föreslagna uppfinningen krävs att minst fyra olika mono- eller bistatiska mätningar är möjliga för varje punkt i rummet. Det blir därmed möjligt att verifiera med den fjärde radarmätningen om den ansatta kombinationen av tre mätningar är från ett och samma mål eller från olika mål. Den senare situationen innebär således att den 35

härledda positionen och farten inte svarar mot ett verkligt mål och därmed att den fjärde stationen inte upptäcker mål på detta avstånd eller med denna fart. När så är fallet kan den ogiltiga associationen förkastas.

- 5 Det är givetvis möjligt att den fjärde stationen finner ett mål på den från de tre mätgeometrierna härledda positionen men att detta enbart beror på tillfälligheten att ytterligare ett mål råkar ha samma avstånd och hastighetsprojektion som den falska associationen mellan de tre första mätgeometrierna resulterade i. I detta fall duger inte fyra mätgeometrier för en unik bestämning av måltillstånd. Om då istället fem
- 10 mätgeometrier täcker varje punkt i rummet kan tillgången till en femte mätning utnyttjas för att förkasta eller verifiera återstående associationer mellan fyra mätgeometrier. Sannolikheten att dessa fem mätgeometrier egentligen ser olika mål blir mycket liten varför man kan anta att de av fem mätgeometrier understödda associationerna ger de korrekta måltillstånden. Om denna konfidens likväld inte duger krävs
- 15 en sexfaldig överlagring o.s.v. I det föreslagna systemet erhålls, genom att utnyttja bistatiska geometrier mellan en mångfald stationer med rundstrålande antennar, en mer än 20-faldig överlagring. Konfidensen för frihet från falklarm blir därvid synnerligen hög även i fallet att kanske 1000 mål ligger inom mätintervallen för varje radarstation.
- 20
- 25 Det grundläggande vid uppfinningen utgörs av insikten om hur en mångfald av sändare och mottagare skall anordnas för att realisera denna omfattande överlagring av oberoende mätgeometrier liksom hur datorberäkningar av måltillstånd, utgående från överlägrade verifieringar av associeringar från dessa oberoende mätgeometrier, praktiskt skall arrangeras.

- Vid sidan om att kunna hantera stora antal mål och höga måltätheter, medger den föreslagna tekniken sådana prestanda att systemet i en gemensam funktion kan användas för övervakning av luftrummet över en mycket stor yta, säg hela landet,
- 30 kombinerat med direkt eldledning med metemoggrannhet. Genom detta kompenseras den korta räckvidden och den därmed förenade korta förvarningstiden. Systemet medger omedelbar vapenverkan vid upptäckt, t.ex. genom att luftvärmsrobotar kommandostyrs utgående från relativpositionen mellan robot och mål, genom att såväl robotten och målet inmäts av systemet. Det noteras att detta torde
  - 35 vara en av de få möjligheterna att effektiv bekämpa ett framtid hot från stealthflygplan, eftersom inte bara konventionell spaningsradar utan också eldledningsradar och robotmålsökare förväntas överksamma mot stealth.

- Det poängteras ånyo att det beskrivna inmätningsförfarandet är helt oberoende av radarstationernas förmåga till vinkelräkning. Häri ligger en väsentlig skillnad från konventionell radar och i själva verket förutsättningen (på grund av de annars alltför stora datamängderna) för möjligheten till noggrann positionsbestämning och
- 5 således bl.a. möjligheten precisionsstyrning av luftvärensrobotar. Den principiella fördelen ligger i att medan systemet medger utplacering av flygmålen över ett oerhört stort antal möjliga upplösningsceller i läge och hastighet - var och en meterstor och med hastighetsupplösning om enstaka meter per sekund - så behöver motsvarande stora datamängder inte samlas in vid någon enstaka station eller ens
- 10 ej vara representerat av den samlade mängden stationer. Detta i motsats till konventionell radar, som kan sägas mäta varje upplösningscell för att konstatera huruvida den är tom eller innehåller ett mål. Den föreslagna metoden fungerar under förutsättning ett endast ett mål ligger i varje hastighets/avståndscell vid varje station (utan krav på vinkelbestämning). Antalet hastighets/avståndsceller kan
- 15 uppgå till  $10^5$ , vilket innebär att, även om mer än 1000 mål finns inom radarns räckvidd, sannolikheten att mer än ett mål förekommer i en cell är liten. Sedan mål väl detekterats som funktion av hastighet och avstånd, bestäms målens 3-dimensionella position och hastighet av den efterföljande algoritmen. Även i detta efterföljande steg kan datamängderna begränsas genom lämplig utformning av denna
- 20 algoritm.

- Det 6-dimensionella tillståndsrummet av lägen och hastigheter kan innehålla  $10^{20}$  celler. Detta tal är nära nog av samma storleksordning som antalet atomer i något gram av ett ämne (Avogadros tal). Därav följer att om inte sofistikerade metoder
- 25 utnyttjas för att samla in och signalbehandla data, blir denna uppgift ogörlig även i alla framtida datorutrustningar eftersom datorminnen begränsas av att vara uppbyggda av ett finit antal atomer. En effektiv algoritmutformning är däremed inte enbart ett önskemål, utan ett krav för genomförbarheten av den föreslagna metoden.
- 30 En nära till hands liggande sådan metod att effektivt begränsa räknebördan för att bestämma mållägen och målhastigheter i motsvarande tillståndsrum utgår från tre mono- eller bistatiska mätgeometrier och  $N$  mål detekterade av var och en av dessa mätgeometrier. Utgående från detta data bildas först alla tänkbara måltillstånd för de  $N$  målen. Dessa tillstånd kommer vara av storleksordning  $N^3$  till antalet. På det sätt som redan nämnts kan sedan var och ett av dessa kandidattillstånd stödjas eller förkastas beroende på om härförda mållägen och hastigheter
- 35

återfinns som detektioner hos ytterligare mätgeometrier som observerar området inom vilket kandidaterna placerats.

Denna direkta metod är dock behäftad med flera svagheter:

5

- Att fastställa mållägen och målhastigheter från radardata är en krävande beräkning. Att erhålla mållägen för var och en av de  $N^3$  målkandidaterna innehåller bland annat (för bistatiska mätgeometrier) lösandet av en 6:e gradens algebraisk ekvation. Dessutom måste man därefter kontrollera varje kandidat tillstånd mot samtliga faciliteter som når motsvarande målposition. Detta ger en processeringsalgoritm bestående av  $KN^3$  elementära räknesteg. Tyvärr blir  $K$  med nödvändighet ett relativt stort tal (säg  $> 1000$ ), eftersom detta innehåller nämnda beräkning och då bland annat komplexiteten att lösa 6:e gradsekvationen. Om dessutom  $N = 1000$  blir antalet räknesteg  $> 10^{12}$  vilket får betraktas som opraktiskt och ineffektivt om än inte principiellt omöjligt.

10

- Genom att från början välja ut 3 av kanske 20 täckande radarstationer finns en klar risk att någon av just dessa inte råkat observera ett visst mål. Kanske för att målet har nämnda stealthutformning eller för att det uppträder i en för just denna station olämplig aspektvinkel (det har 0-Doppler och dränks i markekot) eller att väder- och utbredningsbetingelser råkar vara ogynnsamma vid tillfället för mätningarna. Trots att i detta fall kanske alla andra av de 20 radarstationerna kan detektera målet kommer genom metoden målet likväldigt ej att bli inmätt.

15

- Detta är avgörande nackdel, eftersom just denna typ av situation mycket väl kan inträffa och radarsystemet måste fungera även i detta fall.

Utgående från dessa argument använder föreliggande uppfinning en annan princip för måldetektion.

20

- Ändamålet med uppfinningen är att lösa problemet att bestämma hastighet och läge för mål genom att använda ovanstående metod som bygger på ett stort antal överlappande radarstationer. Detta sker genom att uppfinningen får en utformning som framgår av det efterföljande självständiga patentkravet. Lämpliga utföringsformer av uppfinningen framgår av övriga patentkrav och omfattar dels olika konkreta sätt att placera sändare och mottagare och konkret utformning av beräkningssteg, dels ett i sammanhanget speciellt lämpligt antennarrangemang.

25

30

35

Uppfinningen kommer i det följande att beskrivas närmare under hänvisning till bifogade ritning, där

- fig. 1a visar principen för grov målpositionering genom överlagra  
5 mätningar och förfining av upplösningsceller; antalet faciliteter med  
detektioner som bär anges i resp. upplösningscell, varvid som tomma  
celler fastslagna celler markeras med kursiv stil och celler som  
bevaras för vidare sönderläggning markeras med fetstil,
- 10 fig. 1b visar målpositionering genom tre i förhållande till varandra transla-  
terade cellindelningar,
- fig. 1c visar finpositionering med fyra samstämmiga mätningar för varje del-  
reflektor,
- 15 fig. 2 visar en datorarkitektur för genomförandet av målpositionering,  
fig. 3 visar frekvenstillsdelning inom ett radargitter vid stegad frekvens,  
fig. 4 visar bistatiska radarkonfigurationer som täcker ett triangulärt prisma  
15 av positioner,
- fig. 5 visar ett för applikationen ändamålsenligt antennarrangemang och  
fig. 6 visar ett ändamålsenligt principalschema för en radarmottagare.
- 20 I grunden består systemet av en i kända punkter i ett lägesrummet utspridd mängd  
av sändare och mottagare samt en analysutrustning. Systemet kan, som anförlts,  
arbeta med elektromagnetiska eller akustiska signaler. En konventionell radar är  
monostatisk, med vilket förstås att paret av sändare och mottagare är samlokali-  
serade. Om de däremot är rumsligt åtskilda kallas utrustningen bistatisk. I systemet  
25 förutsätts mätningar kunna ske bistatiskt, men även monostatiskt. I det följande  
benämns ett par bestående av en mottagare och en sändare, oavsett om mät-  
ningen är bistatisk eller monostatisk, för en mätfacilitet.
- Analysutrustningen tidsbestämmer ögonblick för sändning och mottagna signaler  
30 parametreras som en funktion av gångväg och gångvägsförändring mellan sänd-  
ningspunkt och mottagningspunkt enligt vedertagna principer för radar. Gångvägs-  
förändring skattas därvid genom Dopplerestimering. Vidare lagrar och analyserar  
analysutrustningen mottagna signaler i hela systemet på sätt som närmare kommer  
att beskrivas i det nedanstående. Detta förutsätter kommunikation mellan de olika  
35 sändarna och mottagarna och analysutrustningen. Den för uppfinningen nöd-  
vändiga kommunikationstekniken är etablerad och utgör således i sig inte någon del  
av uppfinningen och kommer inte att diskuteras explicit.

Nödvändigt för uppföringen är att sändamas räckvidder är valda så att ett mål i en godtycklig punkt inom lägesrummet kan inmätas via spridning i målet av minst fyra mätfaciliteter. Som redan diskuterats är detta inte ett lämplighetsval utan en absolut förutsättning för uppföringens funktion. Detta utreds närmare nedan i den 5 mer detaljerade genomgången. Där framgår det också att uppföringen fungerar än bättre med fler mätfaciliteter.

Fortsättningsvis utnyttjas följande beteckningskonventioner: Vektorer anges genom en pil över symbolen, t.ex.  $\vec{N}$ . Affina punkter t.ex. i lägesrummet betecknas genom 10 ett streck över symbolen t.ex.  $\bar{X}$ . Mängder betecknas med feta bokstäver, t.ex.  $X$ . Mätfaciliteter (mono- eller bistatiska) betecknas med små grekiska bokstäver.

Vid varje mätfacilitet  $\phi$  sker måldetektion med konstant falsklarmrisk - "Constant False Alarm Rate", CFAR - genom att signalintensiteten jämförs med brusintensiteten för varje upplösningscell med avseende på avstånd och Dopplerhastighet. 15 Brus kan vara termiskt eller orsakat av för radarfunktionen ovidkommande signaler, men uppfyller någon given statistisk fördelning. De celler där den uppmätta signalintensiteten överskrider den förväntade brusintensiteten med någon given sannolikhet anges innehålla mål, de som underskrider värdet anges vara tomta.

- 20 För att från detektioner övergå till verkliga mållägen använder analysutrustningen en målpositioneringsalgoritm som innehåller att varje mätfacilitet  $\phi$  placerar  $n_\phi$  målkandidater i  $N$  upplösningsceller i ett till mätfaciliteten hörande 2-dimensionellt linärt rum av avstånd och Dopplerhastigheter  $S_\phi^2$  samt att 3-dimensionella 25 lägen och 3-dimensionella Dopplerhastigheter representeras i ett 6-dimensionellt linärt läges- och hastighetsrum  $S^6$  indelat i  $N^3$  upplösningsceller  $X \subset S^6$  med samma avstånds- och Dopplerhastighetsupplösning som återfinns hos mätfaciliterna.
- 30 Givet en cell  $X \subset S^6$  finns en mängd faciliteter  $\{\phi, \phi', \phi'', \dots\} = \Phi(X)$  som bär på cellen. Vilka faciliteter som skall räknas in i  $\Phi(X)$  är främst beroende av faciliteternas räckvidd och närhet till positionen för  $X$  men också vågutbredningsförhållanden och kan således bero på t.ex. väder. Det antas dock att  $\Phi(X)$  alltid är känd för varje  $X \subset S^6$ . För varje facilitet  $\phi \in \Phi(X)$  finns dessutom en känd avbildning 35  $X \subset S^6 \rightarrow m_\phi(X) \subset S_\phi^2$  som relaterar måltillstånd till mätvärden vid varje facilitet  $\phi \in \Phi(X)$ . Låt  $n(X)$  vara storleken av mängden  $\Phi(X)$  dvs. det antal mätfaciliteter som bär på  $X$ .

- Låt nu vid något visst tillfälle  $n'(\mathbf{X})$  vara det antal faciliteter  $\varphi \in \Phi(\mathbf{X})$  för vilka  $m_\varphi(\mathbf{X})$  innehåller en detektion, dvs. det antal mätfaciliteter som detekterar mål som hypotetiskt skulle kunna ligga i  $\mathbf{X}$ . Betrakta kvoten  $\alpha(\mathbf{X}) = n'(\mathbf{X})/n(\mathbf{X})$ . I ett idealistiskt fall detekterar alla faciliteter som bär på cellen  $\mathbf{X}$  också alltid det mål som befinner sig i  $\mathbf{X}$ , varvid  $\alpha(\mathbf{X}) = 1$  skulle gälla i alla de fall att  $\mathbf{X}$  innehåller ett mål. I verkligheten kan det dock inträffa att endast en bråkdel av faciliteterna i  $\Phi(\mathbf{X})$  uppfattar målet i vilket fall  $\alpha(\mathbf{X}) < 1$ . Skälen härtill kan vara olika, främst att utbredningsförhållandena för radarsignaler inte är de antagna eller att målet har mindre radar-tvärsnitt än vad som antagits.

- Såldes bör som ett målpositioneringskriterium i  $S^6$  utnyttjas att  $\alpha(\mathbf{X})$  överstiger ett på förhand angivet värde, som är valt med hänsyn till en sådan begränsad upptäcktsannolikhet och vilket värde således kan vara mindre än ett. Å andra sidan kan ett alltför litet tröskelvärde för  $\alpha(\mathbf{X})$  innehära risk för falskalarm orsakade av att för någon cell  $\mathbf{X}$  som i verkligheten inte innehåller något mål  $m_\varphi(\mathbf{X})$  likväld innehåller mål för tillräckligt många faciliteter  $\varphi \in \Phi(\mathbf{X})$ . Denna risk för falskalarm kan beräknas genom sannolikhetskalkyl. En användbar approximativ formel är

$$20 \quad p^{FA}(n') \approx e^{-n' e^{-M/N}}$$

- Formeln anger sannolikheten för att ett falskmål uppträder i en godtycklig cell, givet att  $n'$  mätningar antas tillräckligt för detektion,  $M$  är det förväntade antalet mål och  $N$  antalet upplösningssceller. Formeln bygger på att falskalarm helt uppstår genom associationer mellan detektioner av olika mål vid de olika faciliteterna. Antagandet kan antas vara riktigt om  $M \gg n' \geq 3$ . Som exempel kan nämnas att om  $M = 10^3$  gäller

$$\begin{aligned} N = 10^2, n' = 4 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 0,99999\dots \\ N = 10^2, n' = 20 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 0,99 \\ N = 10^3, n' = 4 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 0,1 \\ N = 10^3, n' = 20 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 10^{-21} \\ N = 10^5, n' = 4 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 10^{-8} \\ N = 10^5, n' = 20 &\Rightarrow p^{FA}(n') = 10^{-40} \end{aligned}$$

- 30 Vi ser att om antalet upplösningssceller i  $S_\varphi^2$  är färre än antalet mål  $N < M$  så är nästan alla celler i  $S^6$  belagda av falskalarm. Om antalet upplösningssceller i  $S_\varphi^2$  är i paritet med antalet mål  $N \approx M$  beror beläggningsgraden till stor del på graden av

- överlagring. När antalet upplösningsceller är betydligt större än antalet mål  $N \gg M$  är visserligen sannolikheten för ett mål i en godtycklig cell i liten men eftersom tillståndsrummet  $S^6$  innehåller  $N^3$  upplösningsceller (dvs.  $10^{15}$  celler om  $N = 10^3$ ) så blir den total sannolikheten att falskmål finns i någon cell i motsvarande grad större. Det är uppenbart att med valda parametrar är  $n' = 4$  otillräckligt för att eliminera falskmål från tillståndsrummet medan  $n' = 20$  är mer än tillräckligt.

I själva verket utgör den stora redundansen i form av många överlagrade mätgeometrier en avgörande möjlighet att snabbt genomföra signalbehandlingen för associering mellan mätgeometrierna. Detta snabba förfarande utgår från att en preliminär associering kan genomföras med en upplösning grövre än den slutgiltiga. Dessa grova celler blir relativt få till antalet men den mångfaldiga redundansen gör likväld att ett visst antal celler är tomma och varken innehåller mål eller fälskalarmer.

Dessa celler kan därmed strykas i den preliminära associeringen och de återstående cellearna bibehållas till en finare cellindelning. Detta utgör grunden för datorimplementeringen av målpositioneringsalgoritmen som beskrivs i det följande, se även figur 1a.

I figur 1a visar den vänstra delen av figuren, A, en fördelning av tomma celler och celler innehållande flygmål. Dessa celler är grova och av detta skäl finns för varje cell många mätfaciliteter som detekterar mål som i princip kan ligga i cellen. Siffrorna anger hur många sådana faciliteter som finns för varje cell. Att siffran för en viss cell är kursiverad betyder att antalet faciliteter ligger under den bråkdel av möjligt antal faciliteter som krävs för det skall vara troligt att cellen innehåller ett mål. Celler som bevaras för vidare sönderläggning markeras med fetstil.

Den övre höga delen, B, visar en sönderläggning av en cell som inte innehåller mål, under det att den nedre högra delen, C, visar sönderläggning av en cell innehållande mål. I denna visas hur under vidare sönderläggning det ursprungliga antalet detektioner visas ligga i en bestämd position, vilken fastställs med god precision allteftersom cellindelningen blir finare.

Vid analysen väljer man den ursprungliga cellindelningen sådan att  $S^6$  indelas i  $m_0$  disjunkta men kongruenta celler  $X_{ij}$ . Celleerna antas här vara parallelepipedar. Även andra cellgeometrier kan emellertid tänkas. Talet  $m_0$  bör inte vara större än att till varje cell ett antal koefficienter (av storleksordningen 100 vid 20-faldig

överlagring, se nedan) som bestämmer avbildningarna  $m_\varphi(\mathbf{X})$  kan lagras i ett snabbt minne i den dator som genomför målpositioneringen. Således

$$\frac{\Omega_0}{\omega_1} = \frac{\mu(S^6)}{\mu(\mathbf{X}_{1,j})} = m_0 ,$$

5

där  $\mu()$  betecknar volymen av ett område i det 6-dimensionella läges- och hastighetsrummet. Antag nu att en viss bråkdel av de ursprungliga cellema  $\mathbf{X}_{1,j}$  befinner tomma enligt det tidigare diskuterade målpositioneringskriteriet. Vi indelar därvid resterande celler i delceller så att vi i möjligaste mån erhåller lika många nya celler som vi hade i den ursprungliga indelningen. Därmed uppnås att datorns minne ånyo belastas till lika stor grad och nästa nivås beräkning flyter identiskt med den ursprungliga.

10

Det måste beaktas att celler skall indelas så att varje ursprunglig cell blir jämnt indelad i nya celler eftersom annars vi inte fullt utnyttjar den tidigare kunskapen om vilka celler som är tomma och vilka som kan innehålla mål. Beteckna med  $\Omega_i$  den sammanlagda volymen av celler som målpositioneringsförfarandet betecknar som icke-tomma i indelningsnivån  $i$ . Således väljs indelningsförhållandet genom avrundning av kvoten  $\Omega_0/\Omega_1$  till närmaste större heltalet

20

$$h_2 = \text{int} \frac{\Omega_0}{\Omega_1}$$

Notera att i inledande indelningar falsklarmsannolikheten kan vara mycket stor, t.ex.  $\Omega_1 = 0,999\dots\Omega_0$ . I detta fall blir likväld  $h_2 = 2$ . Celler delas nu också enligt

25

$$\mu(\mathbf{X}_{2,j}) = \omega_2 = \frac{\omega_1}{h_2}$$

30

Det är därvid inte av betydelse hur celler delas utan endast hur pass volymen reduceras. Celler kan delas såväl genom att hastighetsindelningen görs finare i en eller flera dimensioner eller att de spatial upplösningen istället förfinas.

35

Antag nu att ånyo en viss bråkdel av de förfinade cellerna  $\mathbf{X}_{2,j}$  befinner tomma enligt målpositioneringskriteriet. Vi indelar resterande celler i delceller så att vi i möjligaste mån erhåller lika många delceller som vi hade i den ursprungliga indelningen. Därmed uppnås att datorns minne ånyo belastas till samma grad och

nästa nivås beräkning kan löpa identiskt med den ursprungliga. Detta inträffar om vi utgående från volymen  $\Omega_2$  av resterande delceller väljer volymen av de förfinade cellema  $\omega_3$  enligt

$$5 \quad \left. \begin{aligned} h_3 &= \int_{+\infty} \frac{\Omega_1}{\Omega_2} \\ \omega_3 &= \frac{\omega_2}{h_3} \end{aligned} \right\}$$

Allmän erhålls ett rekursivt förfarande av förfinad cellindelningar

$$\left. \begin{aligned} h_{i+1} &= \int_{+\infty} \frac{\Omega_{i-1}}{\Omega_i} \\ \omega_{i+1} &= \frac{\omega_i}{h_{i+1}} \end{aligned} \right\}$$

- vilket fortsätter tills en hastighetsupplösning uppnås som motsvarar den uppmätta  
 10 Dopplerupplösningen.

Avseende spatiell upplösning är avbrottskriteriet mer subtilt. Två komplikationer som härrör från ett måls finita utsträckning bör noteras:

- 15 A. Avsikten är att erhålla en upplösning som är finare än målens utsträckning. Målpositioneringskriteriet, givet av  $\alpha(X_{ij})$ , att faciliteter som mäter målet i olika geometrier mäter samma avstånd till målet, kan inte tillämpas för denna fina upplösning, eftersom ett flygmåls delreflektorer normalt inte kan detekteras från annat än vissa betraktungsgeometrier (exempelvis kan en vingrot på ett flygplan endast detekteras från ena sidan). Mätningar som härstammar från upplösningsceller  $X_{ij}$  som bara inkluderar delar av ett mål kommer därmed inte att skapa tillräckligt stora värden på  $n'(X_{ij})$ .
- 20 B. Även när den spatiala cellindelningen i  $S^6$  är grövre än målens utsträckning kan målpositioneringskriteriet bli otillämpbart om ett mål ligger på randen mellan två intilliggande celler  $X_{ij}$  och  $X_{ij'}$ . I detta fall kommer en del av målets delreflektorer tillskrivas den ena cellen och resterande reflektorer den andra. Det finns då en risk att vare sig  $\alpha(X_{ij})$  eller  $\alpha(X_{ij'})$  blir tillräckligt stora för att målet skall bli detekterat. Risken att detta inträffar är liten om cellema
- 25

är betydligt större än målen, men ökar och blir oacceptabelt stor när den spatiala cellstorleken närmar sig målstorleken.

För att ta hänsyn till dessa komplikationer genomförs målpositionering i tre steg:

5

1. *Upplösning av falskalarm.* I detta första steg används det av  $\alpha(X_{ij})$  givna målpositioneringskriteriet och sker enligt det tidigare beskrivna förfarandet tills upplösningsvolymer reducerats till en så liten spatial cellvolym som möjligt. Dock måste den vara så stor att risken att mål ligger på kanten av celler är negligerbar och således upplösningen vara grövre än målens utsträckning. Denna nivå torde ändå vara tillräckligt fin för att falskalarm endast skall förekomma i fåtal.

10

15

2. *Slutlig grovpositionering.* I detta förfinas upplösningen ytterligare med nämnda förfarande med den skillnaden att fler cellindelningar  $X^{(1)}_{ij}, X^{(2)}_{ij}, \dots$  av  $S^6$  beaktas. Cellerna  $X^{(1)}_{ij}, X^{(2)}_{ij}, \dots$  är kongruenta men skiljer sig för respektive nivå  $i$  på translationer bråkdelar av cellängden i den spatiala domänen. Eftersom få falskmål förmodas och endast celler i målens nära omgivning beaktas, blir en överlappande cellindelning räknemässigt inte särskilt betungande att hantera. Det givna målpositioneringskriteriet används på samtliga cell-

20

indelningar  $X^{(1)}_{ij}, X^{(2)}_{ij}, \dots$ . Antag att vi beaktar cellindelningar, vilka skiljer sig på halva cellängden. Om ett mål inte har en större utbredning än halva cellstorleken så kommer de därvid att säkert inneslutas i minst en cell  $X^{(k)}_{ij}$ , enligt figur 1b. Mållägen kan därvid interpoleras till positioner inom halva

25

cellstorleken. Detta genom att målet helt eller delvis ligger i  $X^{(k)}_{ij} - X^{(k')}_{ij'}$  om det detekteras i  $X^{(k)}_{ij}$  men inte i  $X^{(k')}_{ij'}$  liksom att det helt ligger i  $X^{(k)}_{ij} \cap X^{(k')}_{ij'}$  om det detekteras såväl i  $X^{(k)}_{ij}$  som i  $X^{(k')}_{ij'}$ . För cellindelningar med finare överlappning kan mål med storlek som närmar sig hela cellen beaktas och positionering blir i motsvarande grad bättre.

30

I figur 1b visas ett mål A som helt ligger inom cellen a. Om målet translateras till B så att det skär en kant av cellen, ligger det med säkerhet i en av fyra cellhalvor av den ursprungliga cellen och ligger därför i en cell b som skiljer sig från a genom translation halva cellängden längs en kantlinje. Om målet translateras till C och skär två kanter, innesluts det i en av fyra cellkvadranter c som skiljer sig från a genom translation längs två kantlinjer. I tre dimensioner åtgår sju cellindelningar halva cellängden för att säkert innesluta mål som inte är större än halva cellängden.

35

3. *Finpositionering.* I detta slutliga steg genomförs en cellindelning  $X_{n+1,j}$  i vilken enskilda reflektorer i målet upplöses genom att radarfaciliteternas fulla bandbredd och upplösningsförmåga utnyttjas. Det antas därvid  $\text{à priori}$  givet att målet ligger inom en cell  $X_{ij}$ , erhållen enligt punkt 2, vilken cell ungefär har målets förväntade storlek. Enligt punkt A kan tidigare målpositioneringskriterium, givet av att flertalet faciliteter som bär på en punktreflektor i  $X_{n+1,j}$ , inte tillämpas. Det är emellertid nu helt acceptabelt att endast kräva exempelvis verifiering med fyra mätfaciliteter vid positionering av delreflektorer, dvs.
- 5                     $\alpha(X_{ij}) = 4/n(X_{ij})$ . Detta eftersom felaktiga associationer mellan detektioner med stor sannolikhet ger positioner som ligger utanför  $X_{ij}$  och som således redan konstaterats vara tomma. Dessa fyra mätfaciliteter kommer ha liknande betraktningsgeometri varvid det antas att målpositioneringskriteriet uppfylls av tillräckligt många verkliga delreflektorer i flygmål. Detta visas i figur 1c, som
- 10                 dels visar ett mål helt i en enda cell A efter grovpositionering och dels reflexer från målet uppdelade på delcellerna B.
- 15                 ...

I och med bestämmandet av delreflektoremas läge anses radarmätförfarandet avslutat. I tillämpningen precisionsbekämpning av flygmål återstår ytterligare datahantering i form av målföljning, måligenkänning och träffpunktsval. Underlag för dessa förfaranden finns i insamlat radardata. Det är t.ex. möjligt att använda etablerade mönsterigenkänningsmetoder för att utgående från delreflektoremas läge finna flygmåls orientering och utsträckning. Viktig  $\text{à priori}$ -kunskap finns i delreflektoremas gemensamma hastighetsvektor, vilken ger en dimension för orienteringsbestämning. Dessutom innebär mångfalden av radarfaciliteter en genuint 3-dimensionell avbildning av flygmål, varvid t.ex. flygmåls normala höger/vänstersymmetri blir invisning för slutlig bestämning av orientering och angivandet av flygmålets huvuddimensioner.

20                 ...

25                 ...

30                 ...

35                 Vi beskriver nu i större detalj avbildningarna  $m_p(X)$  vilka skall implementeras i dator. Antag att mätdata från samtliga faciliteter som bär på en gemensam volym  $P_0$  av positioner finns lagrade i en dator. Det 6-dimensionella tillståndsrummet  $S^6$  avser här denna volym kombinerad med en hastighetsvolym  $V_0$ , således  $S^6 = (P_0, V_0)$ . Låt  $X_{ij} = (P_{ij}, V_{ij})$  vara en cellindelning av  $S^6$  i parallelepipeder i position och hastighetsrum. Det noteras att cellindelningen helt är given av ett rektangulärt gitter av hömpunkter  $\bar{X}_{ij} = (\bar{P}_{ij}, \bar{V}_{ij})$  för parallelepipederna. Avbildningarna  $m_p(X_{ij})$  definieras av maximala och minimala avstånds- och Dopplerfarts-

värden  $r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-$  respektive  $v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-$  för varje cell  $\mathbf{X}_{ij} = (\mathbf{P}_{ij}, \mathbf{V}_{ij})$  och med avseende på varje facilitet  $\varphi \in \Phi(\mathbf{X}_{ij})$ . Således definieras

$$m_\varphi(\mathbf{P}_{ij}, \mathbf{V}_{ij}) = (r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-) | (v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-)$$

5

där  $[a,b]$  betecknar intervallet från talet  $a$  till talet  $b$ .

- Som tidigare nämnts kan antalet celler i  $S^6$  bli så stort att lagring av talen  $r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-$  och  $v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-$  för varje cell och facilitet är en omöjlighet. Att istället beräkna  $r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-$  och  $v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-$  enskilt för varje cell innebär, som också nämnts, det komplicerade förfarandet att lösa en 6:e gradsekvation. Däremot är det möjligt att finna  $r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-$  och  $v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-$  snabbt genom lineär interpolation. Härvid förutsätts en initial cellindelning  $\mathbf{X}_{1j} = (\mathbf{P}_{1j}, \mathbf{V}_{1j})$  av  $S^6$  som inte är större än att nödvändiga interpolationskoefficienter för den fortsatta förfiningen av denna cellindelning kan 10 lagras för varje cell och facilitet. Hömpunkterna  $\bar{\mathbf{X}}_{ij} = (\bar{\mathbf{P}}_{ij}, \bar{\mathbf{V}}_{ij})$  för den förfinade cellindelningen beräknas enkelt ur  $\bar{\mathbf{X}}_{1j} = (\bar{\mathbf{P}}_{1j}, \bar{\mathbf{V}}_{1j})$ . Talen  $r_{\varphi,ij}^+, r_{\varphi,ij}^-$  och  $v_{\varphi,ij}^+, v_{\varphi,ij}^-$  följer ur kännedom om hömpunkterna  $\bar{\mathbf{X}}_{ij} = (\bar{\mathbf{P}}_{ij}, \bar{\mathbf{V}}_{ij})$  samt enhetsnormalerna  $\bar{N}_{\varphi,ij}$  för skärningen med  $\mathbf{P}_{ij}$  av avståndsytor svarande mot konstant (mono- eller bilstatiskt) avstånd med avseende på faciliteten  $\varphi$ . Enhetsnormalen kan såvitt inte 15 cellerna är alltför stora bestämmas med god noggrannhet utgående från ett fixt men karaktäristiskt värde för huvudkrökningsradierna  $R_{\varphi,j}^1, R_{\varphi,j}^2$  samt enhetsnormalen  $\bar{N}_{\varphi,1j}$  för avståndsytoras skärning med  $\mathbf{P}_{1j}$ . Således krävs för interpolationen att fyra tal lagras (varav  $\bar{N}_{\varphi,1j}$  beskrivs av två vinklar) för varje facilitet som bär på 20 varje initial cell  $\mathbf{X}_{1j} = (\mathbf{P}_{1j}, \mathbf{V}_{1j})$ .
- Överföringen av ovanstående förfarande till ett schema för datorbearbetning är relativt uppenbar, se figur 2. Antag att mätdata från samtliga faciliteter som bär på en gemensam volym  $\mathbf{P}_0$  av positioner finns lagrade i en dator, samt att detta data i ett datorminne  $B$  är sorterat i minnesbankar per facilitet och inom varje sådan bank i 25 avstånd och hastighet. De spatiala celleerna  $\mathbf{P}_{ij}$  bildar adressareor i ett annat minne  $A$  i vilket koefficienterna är lagrade för interpolationsberäkning av avbildningarna  $m_\varphi$  för celler  $\mathbf{X}_{ij'} = (\mathbf{P}_{ij'}, \mathbf{V}_{ij'})$ , där  $\mathbf{X}_{ij'}$  är en delcell inom  $\mathbf{X}_{1j}$ . Bortsett från koefficienter innehåller adressareorna  $A$  pekare till minnesbankarna för data som härrör från faciliteter som bär på cellen  $\mathbf{X}_{1j}$  och således åtminstone vissa av dess delceller. Koefficienter hämtas från  $A$  för att bilda avbildningarna  $m_\varphi(\mathbf{X}_{1j})$  för bank 30 efter bank. Ett tredje minne  $C$  innehåller räknare, så att det finns en räknare för varje cell  $\mathbf{X}_{1j}$  samt att denna räknas upp en enhet för var gång ett mål detekteras via  $m_\varphi(\mathbf{X}_{1j})$  varefter  $\alpha(\mathbf{X}_{1j})$  evalueras. Ett visst antal celler kommer härvid att 35

anges vara tomma på mål. Utgående från till vilken grad detta sker förfinas upplösningen i de icke-tomma cellerna samt initieras nya räknare i C för de förfinade cellerna. Processen återupprepas på likartat sätt tills slutlig upplösning har uppnåtts. Det noteras att ovanstående förfarande att förfina cellindelningen så att det 5 totala antalet celler i möjligaste mån hålls konstant garanterar hög effektivitet vad avser minnesbeläggning genom denna typ datorschema

Ett fördelaktigt sätt att placera sändare och mottagare är att i varje gitterpunkt i ett 10 regelbundet liksidigt gitter samlokalisera dem, med t.ex. gemensam antenn. Med ett regelbundet liksidigt gitter förstår härvid en mängd punkter i ett plan, som utgör 15 höernen av en liksidig polygon som genom translationer precis täcker planet. Ett liksidigt gitter kan vara rombiskt, kvadratiskt, eller hexagonalt utgående från vald polygon. Ett rombiskt gitter uppbyggt av liksidiga trianglar kallas ekvidistant eftersom de möjliga gittertranslationerna samtliga är multipler av ett och samma gitteravstånd, se figur 3.

För det föreslagna övervakningssystemet är det ekvidistanta nätet att föredra eftersom det medför den jämnaste möjliga utspridningen av radarstationerna över ytan. Det kvadratiska nätet är också tänkbart och innebär egentligen inga avgörande 20 nackdelar jämfört med det ekvidistanta. Vi koncentrerar här diskussionen mot det ekvidistanta nätet som således får utgöra ett konkret utföringsexempel på övervakningssystemet. Det skall betonas att placeringen av stationer i ett ekvidistant gitter bara behöver vara approximativ och mycket väl mer eller mindre kan avvika från det regelbundna mönstret för att anpassas till ytterförsättningar som topografi m.m.

När bistatiska geometrier inkluderas blir antalet möjliga mätkonfigurationer stort och 25 så blir också den önskade överlagringen av oberoende mätgeometrier. För varje station blir antalet bistatiska faciliteter i vilket denna station ingår 12 om den andra stationen i det bistatiska paret ligger inom ett gitteravstånd  $d$  och 36 om den andra 30 stationen tillåts ligga inom två gitteravstånd  $2d$ . Observera att varje facilitet given av en sändare i en gitterpunkt och en mottagare i en annan, har en omvänt facilitet där mottagare ligger i den första gitterpunkten och sändaren i den andra. Bägge faciliteterna mäter under samma geometriska förhållanden och ger samma data så att endast 6 respektive 18 konfigurationer kan ge oberoende data för respektive 35 gitteravstånd. Framförallt i detta senare fall uppnås den önskade graden av mångfaldig överlagring varför den fortsatta diskussionen om radarstationernas räckvidd utgår från att separationen mellan sändare och mottagare i bistatiska geometrier tillåts sträcka sig upp till och med  $2d$ .

Betrakta en lägesrymd i form av ett triangulärt prisma med en triangel av radarstationer separerade ett gitteravstånd som bas och med höjd  $h$  (den förväntade maximala målhöjden). Triangel överlagras (helt eller delvis) av  $3 \times 36 = 108$  bi-

- 5 statiska faciliteter, givet att radarstationerna har pulsrepetitionsfrekvens och sändningseffekt valda enligt vedertagna principer. Endast de konfigurationer som har t.ex. mottagare i triangelns hörn, d v s . 54 av de 108 faciliteterna, kan dock ge från varandra oberoende bistatiskt data. I själva verket räknas bland dessa 54 konfigurationer de bistatiska faciliteterna mellan triangels hörn två gånger, så endast 51 av
- 10 de 54 faciliteterna ger oberoende data. Vid sidan om detta bistatiska data samlas också monostatiskt data in täckande det triangulära prismat. Till vilken grad detta sker är ej dimensionerande för val av radarparametrar och beskrivs därför först något senare i det nedanstående.
  
- 15 Följande förslag till sändnings-/mottagningsmönster för radarstationerna ger möjlighet att utnyttja de önskade bistatiska geometrierna i gittret. Den för en viss avståndsupplösning nödvändiga radarbandbredden  $B$  delas in i lika många delband som antalet stationer som ligger inom en delmängd  $\Psi(2d, \bar{P})$  av gittret som utgör en regelbunden sexhörning med radien  $2d$ , centerad kring gitterpunkten  $\bar{P}$ .
- 20 Antalet delband är således 19, se även figur 3. Radarsändning och radarmottagning utförs med den kända tekniken kallad "stegad frekvens" enlig vilken teknik varje delband helt sänds och tas emot innan samma förfarande upprepas för nästa delband följande en på förhand uppgjord turordning. För den föreliggande tillämpningen utförs varje stations mottagare så att mottagning kan ske över hela bandbredden under varje frekvenssteg. Genom att varje station inom  $\Psi(2d, \bar{P})$  dessutom tilldelas ett och endast ett delband så kommer den mottagna signalen för stationen i punkten  $\bar{P}$  täcka hela radarbandet  $B$  medan varje delband unikt kan tillskrivas någon viss av de 19 stationerna i  $\Psi(2d, \bar{P})$ . Om dessutom samma turordning för delbanden tillämpas för samtliga stationer i  $\Psi(2d, \bar{P})$  kommer data för
- 25 hela radarbandet att ha erhållits för alla bistatiska konfigurationer i  $\Psi(2d, \bar{P})$  som har mottagning i  $P$ . Ett sändningsmönster upprättas över hela gittret genom att sändningsmönstret i  $\Psi(2d, \bar{P})$  också utnyttjas i  $\Psi(2d, \bar{P} + m\vec{G}_i)$  där  $m$  och  $i$  är heltal och  $\vec{G}_i$  är en vektor med längd  $3d$  och riktning  $i \times 60^\circ$ , jfr. figur 3. De inses att precis som i punkten  $\bar{P}$  så innebär sändningsmönstret data för hela radarbandet för alla bistatiska konfigurationer i  $\Psi(2d, \bar{P}')$  som har mottagning i varje gitterpunkt  $\bar{P}'$ .

Att signalen som registreras i varje gitterpunkt  $\bar{P}$  unikt kan tillskrivas någon av sändama i  $\Psi(2d, \bar{P})$  förutsätter att lyssning vid varje radarstation ej pågår längre än en tid

$$5 \quad t_{\text{avg}} = \frac{3d}{c}$$

- efter sändningens början. I själva verket är den enklaste utföringsformen av övervakningssystemet att lyssningstiden begränsas till stegtid minus sändningstiden. Härigenom kan önskade reflekterade signaler tas emot fullständigt innan överhöming sker. Ett mer avancerat förfarande är att modulera sändarsignalen genom t.ex. lineärt frekvenssvep. Härigenom kan överhömingssignal tas emot samtidigt som radarreflexer, varefter båge signalema kan separeras i avstånd och stegtiden utnyttjas fullt ut. Flera kända metoder kan tillämpas för att undertrycka överhöming från puls till puls och därmed uppkomsten av tvetydiga ekon. Sådana metoder är byte av modulation för sändningssignalen mellan frekvenssteg liksom ändring av turordningen mellan frekvenser från stegperiod till stegperiod.

- Med den angivna tidsgränsen kan de 51 oberoende bistatiska geometrierna samtliga utnyttjas för överlägrade mätningar inom det triangulära prismat. Vi kan dock förenkla den fortsatta diskussionen genom att enbart betrakta sådana konfigurer som täcker hela det triangulära prismat, se figur 4. Låt  $\bar{C}$  vara dess centrum och  $\bar{A}_0$  någon godtycklig av gitterpunkterna som utgör höm i dess bas. Döp samtliga gitterpunkter inom två gitteravstånd från  $C$  genom den vinkel de har relativt vektorn  $\bar{A}_0\bar{C}$ . Således utgör  $\bar{A}_0, \bar{A}_{120}, \bar{A}_{240}$  hömen i basen, under det att gitterpunkterna  $\bar{A}_{20}, \bar{A}_{60}, \bar{A}_{100}, \bar{A}_{180}, \bar{A}_{220}, \bar{A}_{280}, \bar{A}_{320}, \bar{A}_{340}$  återfinns inom ytterligare ett gitteravstånd.

- Betrakta först situationen  $h = 0$ . Som framgår av figur 4 möjiggörs likväld i detta fall 12 oberoende mono/bistatiska mätningar med  $\bar{A}_0$  som mottagningspunkt som alla täcker hela prismat. De bistatiska vinklarna är approximativt spridda över hela varvet, dvs. vinkelinkrementen mellan geometrierna är i medeltal  $40^\circ$ . Utgående från att samtliga tre höm  $\bar{A}_0, \bar{A}_{120}, \bar{A}_{240}$  innehåller mottagare kommer det triangulära prismat överlägras av 36 mätningar. Bland dessa återkommer bistatiska mätningar mellan hömen  $\bar{A}_0, \bar{A}_{120}, \bar{A}_{240}$  två gånger vardera så 34 av mätningarna är oberoende. En del av dessa mätningar kommer bara täcka hela prismat när  $h = 0$ . Så är fallet med sändningar från  $\bar{A}_{20}, \bar{A}_{100}, \bar{A}_{140}, \bar{A}_{220}, \bar{A}_{280}, \bar{A}_{340}$ . Således gäller att 18 av de 34 mätningarna skapade av  $\bar{A}_{20}, \bar{A}_{100}, \bar{A}_{140}, \bar{A}_{220}, \bar{A}_{280}, \bar{A}_{340}$  i kombination med

$\bar{A}_0, \bar{A}_{120}, \bar{A}_{240}$  bara har partiell täckning. I figur 4, där ett mål förekommer mellan centrum  $\bar{C}$  och  $\bar{A}_{120}$ , kommer dock sändningar från  $\bar{A}_{20}, \bar{A}_{100}, \bar{A}_{140}, \bar{A}_{220}$  med mottagning i  $\bar{A}_0, \bar{A}_{120}, \bar{A}_{240}$  även att nå sådana mål (t.o.m. upp till mål på höjder något högre än gitteravståndet). Det följer att överlagringen av mätningar i dessa

- 5 fall är minst 28-faldig (det finns i själva verket ytterligare monostatiska och bistatiska mätningar av målet innehållande stationerna i  $\bar{A}_{60}, \bar{A}_{100}, \bar{A}_{140}, \bar{A}_{180}$  som vi här bortser från). Symmetrin ger att samma minst 28-faldiga täckning gäller för alternativa målplaceringar mellan  $\bar{C}$  och triangelhömen  $\bar{A}_{240}$  och  $\bar{A}_0$ , dvs. hela prismat bortsett från de allra mest extrema målhöjderna.

10

Det går givetvis (även om vi fortsättningsvis inte studerar detta fall explicit) att utöka stegtid enligt en allmän formel

$$t_{\text{steg}} = \frac{kd}{c}; k = 2, 3, \dots$$

15

Därmed kan signalen som registreras i varje gitterpunkt  $\bar{P}$  unikt tillskrivas någon av sändarna i  $\Psi[(k-1)d, \bar{P}]$ . Det erfordras att sändarsignalen delas upp i  $3k(k+1)+1$  frekvenssteg.

- 20 Konstruktion av radarsensorer för det föreslagna sensorgittret följer i de flesta avseenden konventionella principer för radar. Således väljs sändareffekt enligt den bistatiska radarekvationen

$$PA = 4\pi \frac{R_{RX}^2 R_{TX}^2}{\sigma_N} \frac{kT\Omega}{t_{\text{int}}}$$

25

Vänster sida består av radarns storleksparametrar i form av sändarens medeleffekt  $P$ , och mottagarantennens effektiva area  $A$ . Höger sida definierar krav på radarfunktionen avseende brusekvivalent radarmålyta  $\sigma_N$ , avstånd mellan mål och mottagare  $R_{RX}$ , avstånd mellan sändare och mål  $R_{TX}$ , brustemperatur  $T$ , integrationstid för Dopplerestimering av (bistatisk) närmandestastighet  $t_{\text{int}}$ , samt vinkelvolymen  $\Omega$  som behöver belysas av radarsändaren. De effektmässigt mest krävande fallen är när  $R_{RX} \approx 2d$  och  $R_{TX} \approx d$  eller omvänt. Vi får därmed

$$PA \approx 16\pi \frac{d^4}{\sigma_N} \frac{kT\Omega}{t_{\text{int}}}$$

35

En övre gräns för  $t_{int}$  sätts av osäkerheten om målmanövrer. Denna ställer krav på att Dopplermätningar förmås i en viss takt och att  $t_{int}$  begränsas reciprokt till denna takt. Obestämdheten orsakas dels av att målets fartvektor förändras under manövrer, dels genom att målets orientering i rummet förändras, vilket förändrar

- 5 läget för fascentrum för radarsignalens spridning i målet. Begränsningarna på grund av respektive effekt uttrycks av olikheterna

$$\left. \begin{aligned} t_{int} &\leq \sqrt{\frac{\lambda}{2a_{man}}} \\ t_{int} &\leq \frac{v_{man}}{a_{man}} \frac{\lambda}{\Delta R} \end{aligned} \right\}$$

- 10 där  $a_{man}$  är den för målmanövrer karakteristiska accelerationen och  $v_{man}$  karakteristisk målfart under manöver,  $\Delta R$  är avståndsupplösningen och  $\lambda$  är radarväglängden.

- 15 En undre gräns för  $t_{int}$  sätts av kravet på Dopplerentydighet. Det föreslagna sensor-gittret arbetar enligt ovanstående med frekvenssteg, som tas emot under fixa tidsintervall  $t_{step}$  bestämda av gitteravståndet  $d$ . Eftersom 19 sådana steg måste förlöpa mellan sändningar av samma frekvens uppstår Dopplertvetydigheter på det sätt som är välbekant i radar när repetitionsfrekvensen blir alltför låg i förhållande till den utsända frekvensen och förväntade målfarter.

- 20 Dessa tvetydigheter kan i det föreliggande fallet lösas upp, eftersom avståndsupplösningen är hög. Dopplerfart kan nämligen enligt välkända principer för matchad filtrering sorteras i fållor med olika grad av linär avståndsvandring under integrationstiden. Dessa fållor sorteras därefter med matchad filtrering i olika  
 25 Dopplerskift. Om därvid uppkomna Dopplertvetydigheter ligger utanför hastighetsupplösningen för linär avståndsvandring kan de bortsorteras, varvid Dopplerfarten bestäms otvetydig. Hastighetsupplösningen som erhålls vid sortering enligt avståndsvandring är  $\Delta v_{\Delta R} = 2\Delta R / t_{int}$ . Eftersom tvetydig Dopplerfart är  $\lambda f_{SRF} / 2$ , där  $f_{SRF}$  är signalrepetitionsfrekvensen, erhålls villkoret för entydig  
 30 Dopplerfartsbestämning

$$t_{int} f_{SRF} \geq \frac{4\Delta R}{\lambda}$$

Det framgår att upplösningen måste vara god i förhållande till våglängden liksom integrationstiden måste vara tillräcklig. Eftersom  $f_{SRF} = 1/19t_{seg}$  och  $t_{seg} = 3d/c$  erhålls

$$5 \quad t_{int} \geq 228 \frac{d\Delta R}{c\lambda}$$

Utgående från de av accelerationer implicerade begränsningarna fås två villkor för nödvändig radarvåglängd

$$10 \quad \left. \begin{aligned} \lambda_{min} &\geq \sqrt[3]{103968 \frac{a_{man} d^2 \Delta R^2}{c^2}} \\ \lambda_{min} &\geq \Delta R \sqrt{228 \frac{a_{man} d}{c v_{man}}} \end{aligned} \right\}$$

- I en utföringsform aktuell för spaning över stora ytor väljs t.ex. gitteravståndet  $d = 20$  km. Om dessutom  $a_{man} = 100$  m/s<sup>2</sup>,  $v_{man} = 100$  ms<sup>-1</sup> och  $\Delta R = 2,5$  m fås  $\lambda_{min} = 0,7$  m respektive  $\lambda_{min} = 0,3$  m. Förljaktligen är förhållandevis låga radarfrekvenser lämpliga, vilket harmoniseras väl med att inte någon vinkelupplösning krävs och förljaktligen inte heller att aperturen behöver göras stor i förhållande till våglängden.

- Integrationstiden med  $\lambda_{min} = 0,7$  m blir  $t_{int} = 0,06$  s. Om vi för exemplet väljer att sändarantennen enbart belyser lufthavet dvs. den övre hemisfären samt att detta sker isotrop är  $\Omega = 2\pi$  sterad. Ansätt dessutom  $\sigma_N = 0,1$  m<sup>2</sup> och  $A = 1$  m<sup>2</sup>. Nödvändig medeleffekt enligt radarekvationen blir därmed  $P = 36$  W.

- I en annan utföringsform för stridsfältsövervakning väljs  $d = 1$  km. I detta fall är det aktuellt att spana mot manövrerande robotar liksom projektiler varför  $a_{man} = 100$  m/s<sup>2</sup>,  $v_{man} = 300$  ms<sup>-1</sup> och  $\Delta R = 0,5$  m. Vi får  $\lambda_{min} = 0,03$  m respektive  $\lambda_{min} = 0,01$  m för de två våglängdsriterierna. Integrationstiden med  $\lambda_{min} = 0,03$  m blir  $t_{int} = 0,01$  s. Anta åter att  $\Omega = 2\pi$  sterad och att  $\sigma_N = 10^{-4}$  m<sup>2</sup> och  $A = 0,1$  m<sup>2</sup>. Nödvändig medeleffekt enligt radarekvationen blir då  $P = 10$  W.

- En ytterligare aspekt som måste beaktas är egenbländning, dvs. företeelsen att för en bistatisk radarfacilitet sändarsignalen direkt belyser mottagarantennen och negativt påverkar mottagarfunktionen. En metod att undvika bländning kan vara att

på lämpligt sätt utforma antennernas riktningskaraktäristik. Det är t.ex. möjligt att utforma vertikala riktningskaraktäristik, så att såväl markinteraktion i minimeras, som att antennerna vare sig sänder ut eller är känsliga för signaler som utbreder sig horisontellt och således mellan angränsande radarstationer. Å andra sidan är en

- 5 kapacitet att mäta in lågflygande mål mycket önskvärd vilket ställer krav på antennverkan i just horisontell led (en viss vertikal lobformning är också önskvärd och kommer diskuteras mer i det nedanstående). Det är också möjligt att forma riktningskaraktäristiken i bäringsledd med nollställd antennverkan i bärningar riktade mot angränsande radarstationer. Detta är inte heller någon lämplig metod att
- 10 eliminera bländningseffekten eftersom sektoreerna med nollställd antennverkan måste vara mycket smala för att undvika en påtaglig minskning i systemets prestanda. Låga frekvenser, vilket ovan befanns lämplig för större spaningssystem, ställer därför krav på stora antenner, vilket knappast är möjligt för ett system som bygger på många samverkande stationer.
- 15 Följaktligen kan antennriktverkan knappast utnyttjas för att undvika bländning. Där emot kan begränsningen i prestanda på grund av denna effekt minimeras genom lämplig utformning av sändar- och mottagarfunktionen. Det finns två relativt motsatta tillvägagångssätt. Det ena utgår från ett noggrant upprätthållande av ett ekvivalent gitter. Härigenom uppnås att under stegtiden  $t_{seg} = 3d/c$  sändarsignalen endast påverkar den mottagna signalen under viss specifika tider nämligen
- 20

$$\left. \begin{array}{l} t_0 + \frac{d}{c} \leq t \leq t_0 + \frac{d}{c} + \Delta t \\ t_0 + \frac{\sqrt{3}d}{c} \leq t \leq t_0 + \frac{\sqrt{3}d}{c} + \Delta t \\ t_0 + \frac{2d}{c} \leq t \leq t_0 + \frac{2d}{c} + \Delta t \\ t_0 + \frac{\sqrt{7}d}{c} \leq t \leq t_0 + \frac{\sqrt{7}d}{c} + \Delta t \end{array} \right\},$$

- 25 där  $\Delta t$  är sändningstiden och  $t_0$  någon tidpunkt för ett nytt sändningssteg. Om nu sändningstiden väljs kort och då utgående från upplösning dvs.

$$\Delta t = \frac{2\Delta R}{c}$$

- 30 blir det helt acceptabelt att mätdata inte tillgängligt under bländning. Visserligen kommer på grund av bländning i gitterpunkten  $\bar{P}$  mätdatarummen  $S_\phi^2$ , där  $\bar{P}$  ingår i faciliteterna  $\phi$ , sakna data för vissa upplösningsceller i avståndsledd. Dessa

- upplösningsceller svarar genom projektionerna  $m_\varphi$  mot volymer i  $S^6$  där faciliteten  $\varphi$  inte tillför mätvärden. På grund av den mångfaldiga överlagringen av oberoende mätgeometrier kommer dock endast isolerade upplösningsceller  $X \subset S^6$  sakna tre mätvärden och väsentligen inga celler sakna fler än tre mätvärden trots bländningseffekten. Målpositioneringskriteriet givet av  $\alpha(X) = n'(X)/n(X)$  kan lätt justeras för denna effekt utan påtaglig degradering av prestanda.

Kravet på ett strikt noggrant upprätthållande av ett ekvidistant gitter är dock i de flesta fall olämpligt. Ur militär synpunkt är det tretillägg att precisionsbekämpa nära gitterpunkterna är exakt kända. Det kan också vara olämpligt ur vågutbrednings-synpunkt eller rent praktiska synpunkter att placera radarstationer i en på förhand given konfiguration. Eftersom radarekvation bestämmer medeleffekt, innebär korta pulser ett krav på hög toppeffekt, vilket är apparatmässigt krävande. Helst vill man i stället genom lämplig kodning av sändningssignal utnyttja en arbetsfaktor

15

$$\eta = \frac{\Delta t}{t_{\text{seg}}} = \frac{c \Delta t}{3d}$$

som är rimligt stor, t.ex.  $\eta = 10\%$ . Ett sätt att hantera bländningsproblemet som uppfyller samtliga dessa önskemål utgår från observationen att den bländande signalen är koherent med signalen reflekterad från målet. Därmed kan de diskrimineras genom Doppler- och avståndsanalys. Dock krävs att Doppleranalysen kan ske med en för denna diskriminering tillräcklig dynamik, vilket ställer krav på en höggradigt linär radarmottagare.

25 För att utreda kravet på mottagardynamik noteras att signalstyrkan från den av målet reflekterade signalen bestäms av radarekvationen och är  $kT/t_{\text{int}}$  i varje Doppler-cell från ett mål med målytan  $\sigma_N$ . Maximal bländning i någon gitterpunkt uppstår på grund av sändning från de sex intilliggande gitterpunktarna dvs. under tidsintervall

30

$$t \approx t_0 + \frac{d}{c} t_0 + \frac{d}{c} + \Delta t$$

Styrkan av den bländade signalen uppskattas därmed till

$$P_{\text{bland}} < 6 \frac{4\pi}{\Omega} \frac{A}{d^2} P_{\text{topp}} = 6 \frac{4\pi}{\Omega} \frac{A}{d^2} \frac{P}{\eta}$$

Nödvändig dynamik vid Doppleranalys är således

$$N_{int} < t_{int} \frac{P_{bland}}{kT} = 6 \frac{4\pi}{\Omega} \frac{A}{d^2} t_{int} \frac{P}{kT}$$

5 Nödvändig dynamik vid mottagning blir

$$N_{rx} < \frac{2\Delta R}{c} \frac{P_{bland}}{\eta kT} = 6 \frac{4\pi}{\Omega} \frac{A}{d^2} \frac{2\Delta R}{c} \frac{P}{\eta kT}$$

10 eller

$$N_{rx} < 384\pi^2 \frac{2\Delta R}{ct_{int}} \frac{1}{\eta} \frac{d^2}{\sigma_N}$$

- 15 där  $c/2\Delta R$  är mottagarens fulla filterbandbredd. I båda de anfördta exemplen är kravet på mottagardynamik som högst omkring 70 dB vid  $\eta = 10\%$ . Det är en fullt möjligt och välkänd teknik att anpassa mottagarfunktionen att hantera denna dynamik, åtminstone vad gäller exemplet som utnyttjar de låga radarfrekvenserna. Notera också att 70 dB mottagardynamik är ett extremfall. Bl.a. förekommer de maximala bländsignalema i mottagningsperiodens början och då endast tillsammans med i förhållande till mottagningsstationen närliggande mål. För avlägsna mål och med dessa hörande svaga signaler förekommer endast störsignaler från sändare på större avstånd. I dessa fall dämpas bländsignalen bl.a. genom att terrängen erbjuder en påtaglig skärmning. Nödvändig momentan mottagardynamik blir därför omkring 50 – 60 dB. Mottagarfunktionen kan därmed förenklas med s.k.
- 20 AGC (Automatic Gain Control) som medger momentan anpassning av dynamiken till nivån för den inkommande signalen.
- 25

- 30 Avseende metoderna att koherent undertrycka bländningssignalen noteras att arbetsfaktum bör vara stor i motsats till vid den först beskrivna metoden. Notera också att den koherenta bländningsunderryckningsmetoden i sig inbegriper mottagning av de direkta sändningssignalema mellan faciliteter. Detta ger en uppenbar metod för synkronisering mellan stationer, vilket är nödvändigt för den bistatiska funktionen.
- 35 En sista aspekt som behöver belysas avseende sensorutformning är antennkonstruktion. En viktig fördel med konventionell radarteknik byggande på höggradig riktningskänslighet är att denna naturligt låter sig kombineras med en förmåga att undertrycka störare genom att nollställa riktningskänsligheten i störmikningar. Det

föreslagna radargittret kräver en motsvarande funktionalitet hos de enskilda radarstationerna. När väl en sådan funktion föreligger kommer själva det faktum att radarstationer över ytan samverkar bistatiskt att öka störfastheten, eftersom denna gitterstruktur av stationer ställer krav på att störningar samtidigt utförs i en mångfald riktningar.

- Figur 5 illustrerar i A, sett från sidan, en lämplig antennkonstruktion för radarstationen i en enskild gitterpunkt för det lågfrekventa radarsystemet. Nedanstående synpunkter rör i huvudsak detta system. Antennkonstruktionen kombinerar den nödvändiga, i bäringsledd likformiga riktningskaraktäristiken med lämplig vertikal riktningskaraktäristik. Den har också den önskade störundertryckningsförmågan. Antennen består av två delar. Den första delen består av en vertikal pelare av ett antal identiska enkla antennelement, t.ex. dipoler. Antalet element väljs så att tillräcklig antennförstärkning erhålls i vertikal ledd. Riktningskaraktäristiken i bäringsledd isolerad ringformig riktningskaraktäristik. Den andra delen utgörs av en i förhållande till pelaren koncentrisk ring bestående av att antal enkla antennelement. Om det är  $N$  antennelement i ringen, är det välkänt att  $N - 1$  linärkombinationer av signaler från antennelement kan bildas, där var och en enbart är känslig för signalen från en av  $N - 1$  valfria riktningar. Genom att dessutom linärkombinera signalen från ringen och pelaren kan istället en riktningskaraktäristik erhållas där riktningskänsligheten är nollställd i dessa  $N - 1$  valfria riktningar. I B visas en sådan sammanvägning som är okänslig i en riktning till följd av att ringantennen gjorts känslig endast för denna riktning.
- Kombinationer av signaler från ring och pelare utnyttjas för att vid mottagning undertrycka störningar, då i första hand sådan som är avsedda att degradera radarfunktionen vid en militär konflikt. Vid sändning utnyttjas endast antenn-elementen i pelaren, som sammanvägs till en riktningskaraktäristik som i huvudsak riktar sändningsloben horisontellt, så att den når avsett avstånd med spridning upp till avsedd höjd. Vid mottagning är fler mottagningskanaler nödvändiga för samtidig övervakning av samtliga elevationsriktningar. Den antagna antennytan  $A = 1 \text{ m}^2$  vid våglängden  $\lambda_{\min} = 0,7 \text{ m}$  kräver ca. 10 antennelement på höjden (antennpelaren blir därmed 3,5 m hög). Idealiskt är att varje antennelement har sin egen mottagare. Dock är en sådan konstruktion obehövlig allteftersom den i elevationsriktningen projicerade antennaperturen minskar och den vertikala riktningskaraktäristiken blir allt mindre uttalad. 10 antennelement ger därför endast cirka 5 okorrigerade vertikala antennriktningar, varvid ett analogt signalformningsnät gör att högst fem oberoende mottagarkanaler blir behövliga.

- För störundertryckning behövs ytterligare mottagarkanaler anslutna till antennringen. Lika många mottagare behövs som antalet element i ringen, vilket antal som nämnts måste vara ett större än det förväntade antalet störda riktningar. Notera
- 5    återigen att inget krav på extrem mottagardynamik behövs, eftersom syftet med störundertryckning att grovt undertrycka huvuddelen av störenergin. Det behövs således inte att mottagare anslutna till ringen har tillräcklig känslighet för att detektera mål, utan det räcker med att mottagarna anslutna till pelaren har denna förmåga.
- 10   I fig. 6 visas ett exempel på ett ändamålsenligt principschema för en radarstation i en gitterpunkt. Radarstationen är uppbyggd kring det antennsystemet som beskrivs i figur 5. Pelarantennen utnyttjas för sändning och mottagning, varvid sändningssignaler genereras enligt det sändningsmönster för stegad frekvens som beskrivs i
- 15   figur 4. Ett system för signalkombinering innehåller nödvändiga ömkopplingsfunktioner mellan sändning och mottagning och födröjningsfilter för formandet av vertikala riktningar som separat tas emot av olika mottagare och omvandlas till digitala signaler.
- 20   För störundertryckning behövs ytterligare mottagarkanaler. För dessa är det fördelaktigt att göra signalkombinering efter digitalomvandling,  $AD$ , för att forma smala antennlober i störrikningarna, som genom födröjning och summering kan fås att motsvara den totala störsignalen som inkommer mot pelarantennen. Genom väsentligen en subtraktion (i själva verket en viktad sådan med olika viktsfaktorer
- 25   för olika elevationsriktningar) erhålls störreducerade radarsignaler. Genom matchad filtrering,  $MF$ , med avseende på sändningssignalen erhålls en fördelning av de mottagna signaleerna över avstånd och nämandefart. Härför sker måldetektion,  $Det$ , genom CFAR-tröskling för varje elevationsriktning. Kändedom om elevationsriktningar är inte i sig nödvändig för fortsatt behandling. Detektioner i avstånd och nämandefart kan vidare slås samman för att reducera data i kommunikationen med analysutrustningen.
- 30

## Patentkrav:

1. Ett system för att med från mål spridda signaler bestämma lägen och hastigheter för målen i ett lägesrum, innehållande en i kända punkter i lägesrummet utspridd  
5 mängd av sändare och mottagare av elektromagnetiska eller akustiska signaler, där varje par av sändare och mottagare, monostatiskt eller bistatiskt, benämns en mätfacilitet, vidare innehållande analysutrustning för lagring och analys av mottagna signaler, vilket inbegriper tidsbestämning av ögonblick för sändning och mottagning enligt vedertagna principer för radar och parametrering av mottagna signaler som  
10 en funktion av gångväg mellan sändningspunkt och mottagningspunkt, dock utan det i radar sedvanliga kravet på riktningsinformation, kännetecknade  
att sändarnas räckvidd är valda så att ett mål i en godtycklig punkt inom lägesrummet kan inmätas via spridning i målet av minst fyra mätfaciliteter,  
att för varje mätfacilitet en måldetektion sker med konstant falsklarm nivå.-  
15 "Constant False Alarm Rate", CFAR – där brusintensiteten ansätts ett tröskelvärde och de celler där signalintensiteten överskrid tröskelvärdet anges vara  
målkandidater,  
att analysutrustningen utnyttjar en målpositioneringsalgoritm som innehåller att varje  
mätfacilitet  $\phi$  placerar  $n_\phi$  målkandidater i  $n_\phi$  av  $N$  upplösningsceller i ett till  
20 mätfacilitetetens hörande 2-dimensionellt lineärt rum av avstånd och Doppler-  
hastigheter  $S_\phi^2$  samt att 3-dimensionella lägen och 3-dimensionella Doppler-  
hastigheter representeras som ett 6-dimensionellt lineärt läges- och hastighets-  
rum  $S^6$  indelat i  $N^3$  upplösningsceller  $X \subset S^6$  med samma avstånds- och  
Dopplerhastighetsupplösning som återfinns hos mätfaciliteterna och  
25 att analysutrustningen,  
dels utgående från ett antagande om att sannolikheten är lika stor att ett mål  
återfinns i var och en av cellerna  $X \subset Y_{j\phi}$ , där  $Y_{j\phi} \subset S^6$  är en delmängd  
representerande en enskild målkandidat  $j = 1, 2, \dots, n_\phi$  vid någon enstaka  
mätfacilitet  $\phi$ ,  
30 dels utgående från det förväntade antalet mål  $M = \max_{\forall \phi} n_\phi$ ,  
beräknar, för varje cell  $X \subset Y_{j\phi} \cap Y_{j'\phi'} \cap \dots \cap Y_{j^{(n)}\phi^{(n)}}$  som representerar detektioner vid minst  $n \geq 4$  mätfaciliteter, sannolikheten  $p^{FA}(n, M, N)$  att cellen  
innehåller ett falsklarm som uppstått genom skämingar mellan delmängder  
35  $Y_{j\phi}$  som härrör från olika mål och  
anger, när sannolikheten underskrid ett förutbestämt värde, att snittet innehåller minst ett mål och extraherar härigenom mållägen och målhastigheter.

2. System enligt patentkravet 1, kännetecknats av att sändare och mottagare är placerade som gitterpunkter i ett väsentligen ekvidistant gitter på en yta, som begränsar det övervakade lägesrummet, t.ex. en markyta, med avståndet mellan höjden punkterna väsentligen lika stora,  $d$ , och där signalemas räckvidd vid en väsentligen plan yta är minst  $2d$ , innebärande minst 6 oberoende bistatiska konfigurationer per gitterpunkt och att räckvidden, i det fall ytan inte är väsentligen plan, anpassas för att ge lika många bistatiska konfigurationer som i det plana fallet.
- 5 10 15 20 25 30 35
3. System enligt patentkravet 2, kännetecknats av att ett par bestående av en sändare och en mottagare är placerade som nämnda gitterpunkter i det väsentligen ekvidistanta nätet.
4. System enligt patentkravet 2 eller 3, kännetecknats av att systemet dessutom utnyttjar de kombinerade sändarna/mottagarna för monostatiska mätningar.
5. System enligt patentkravet 2, kännetecknats av att då räckvidden av signalema är  $kd$ ;  $k = 2, 3, \dots$  och där således signalema från  $7, 19, \dots, 3k(k+1)+1, \dots$  gitterpunkter måste kunna särskiljas av varje mottagare, den totala bandbredden  $B$  för signalen delas upp i  $3k(k+1)+1$  intilliggande delband, där varje delband sänds inom en sexhörning av  $3k(k+1)+1$  gitterpunkter samt tas emot av den mittersta stationen i sexhörningen, varefter när de av mål spridda signalema registrerats en ny fördelning av delband över gitterpunkter inom sexhörningen sänds o.s.v. till dess att varje gitterpunkt inom sexhörningen sänt varje delband inom den totala bandbredden, samt att detta sändningsmönster kopieras genom translationer i gittret till kongruenta sexhörningar av  $3k(k+1)+1$  gitterpunkter täckande en godtycklig stor yta, varvid uppnås att varje mottagningsstation aldrig erhåller samma delband från mer än en gitterpunkt inom den förutsatta räckvidden och varje delband unikt kan härledas till gitterpunkten för dess utsändning.
6. System enligt något av patentkraven 1-5, kännetecknats av att analysutrustningen bestämmer för varje upplösningscell  $X \subset S^6$  ett första heltalsvärde  $n(X)$  som utgör det antal mätfaciliteter som har en räckvidd så att de förmår detektera mål som ligger i upplösningsscellen, och ett andra heltalsvärde  $n'(X)$  som utgör det antal mätfaciliteter som faktiskt detekterar mål på det avstånd och med den Dopplerhastighet som betyder att ett mål kan ligga i upplösningsscellen och att analysutrustningen för varje upplösningscell bildar kvoten  $\alpha(X) = n'(X)/n(X)$  och

anger att upplösningsscellen  $X$  innehåller ett mål om kvoten  $\alpha(X)$  överstiger ett på förhand angivet värde som är valt i beroende på säkerheten att detektera mål i en given upplösningsscell och som därför är större än noll och mindre än eller lika med ett.

5

7. System enligt patentkravet 6, kännetecknats av att upplösningsscellema först är valda väsentligt större än avstånds- och Dopplerupplösningen, att upplösningssceller  $X \subset S^6$  som analysutrustningen anger innehålla mål delas på ett sådant sätt i två eller fler upplösningssdelceller att antalet upplösningssdelceller efter del-

10 ningen är väsentligen lika stort som det ursprungliga antalet upplösningssceller, att analysutrustningen därpå genomför en motsvarande andra analys av den nya uppsättningen upplösningssdelceller och de upplösningssdelceller utväljs och anges innehålla mål som uppfyller det valda villkoret, varpå ånyo de celler delas som angivits innehålla ett mål och en ny analys sker o.s.v. till dess den slutliga 15 upplösningssdelcellsstorleken sammanfaller med avstånds- och Dopplerhastighetsupplösningen.

8. System enligt patentkravet 7 kännetecknats av att minst två cellindelningar utnyttjas från och med en förutbestämd indelningsnivå, vilkas celler är 20 kongruenta men skiljer sig för varje indelningsnivå på en translation som är en bråkdel av cellängden i den spatiella domänen, att analysutrustningen genomför sin analys på samtliga cellindelningar, varvid målläget kan fastställas till bråkdelar av den spatiella cellängden genom att mål detekteras i vissa överlappande celler vid en viss indelningsnivå och således helt innesluts i skäringen av dessa celler.

25

9. System enligt patentkravet 8, kännetecknats av att  $\alpha(X) \approx 1$  för upplösningssceller med en spatial utbredning ner till ett förväntat måls maximala storlek och att  $\alpha(X) = 4/n(X)$  för mindre upplösningssceller.

30

10. System enligt något av de tidigare patentkraven, kännetecknats av att sändarna och mottagarna innehållar ett antennarrangemang bestående av

dels ett antal på en mast, längs en vertikal axel, anordnade antennelement som via ett matningsnät tillsammans ges ett 3-dimensionellt strålnings-

35

diagram med en huvuddel av energin likafördelad inom en kon med avseende på den vertikala axeln och där konvinkeln kan styras genom att varierande fasskift påläggs de olika antennelementen vid matningen,

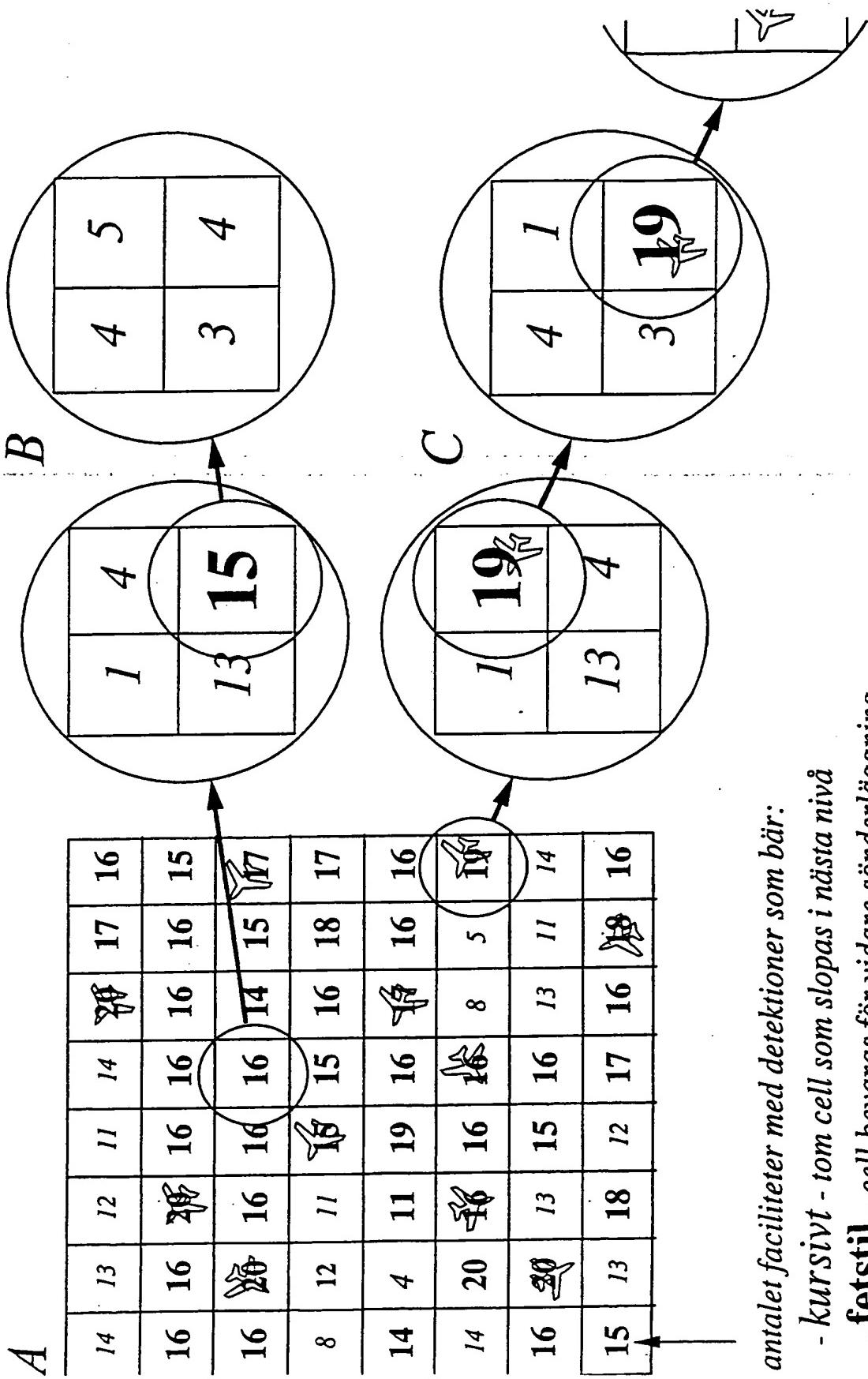
dels ett antal längs en horisontell cirkel, som är koncentrisk med den vertikala axeln, med väsentligen jämn delning längs cirkeln anordnade antenn-element och ett matningsnät för antennelementen, sådant att en eller flera i horisontell led riktade lober kan erhållas genom att varierande fasskift påläggs de olika antennelementen vid matningen och

en enhet som genom en linjärkombination sammanväger signaler från de horisontellt och vertikalt orienterade elementen, så att signalen från den horisontella ringen subtraheras från signalen från den vertikalt anordnade antenn-elementen, vilket resulterar i ett strålningsdiagram som är okänsligt i riktningar där den horisontella ringen har riktade lober.

5

10

Figur 1a

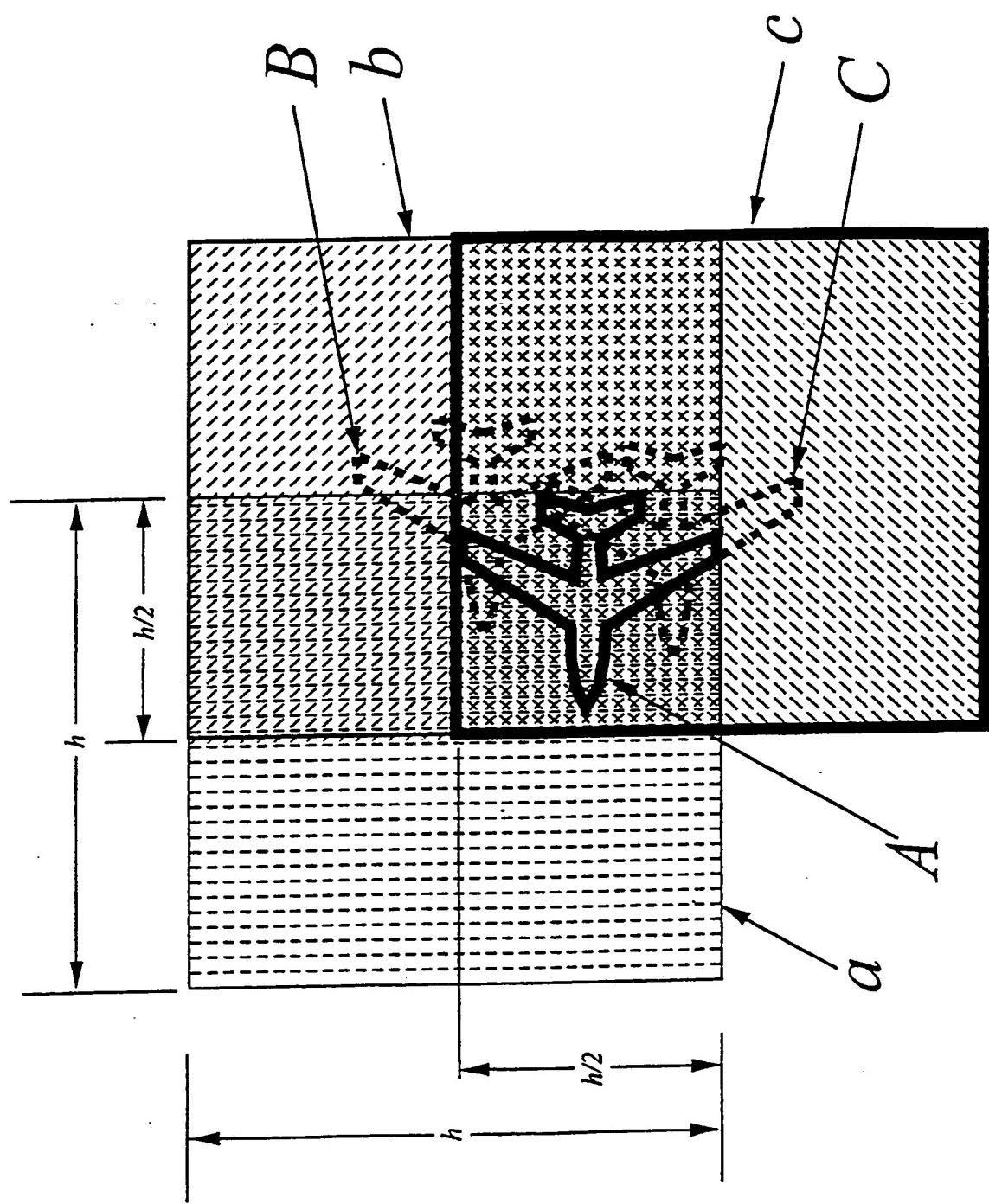


antalet faciliteter med detektioner som bär:

- kursivt - tom cell som slopas i nästa nivå

- fetstil - cell bevaras för vidare sönderläggning

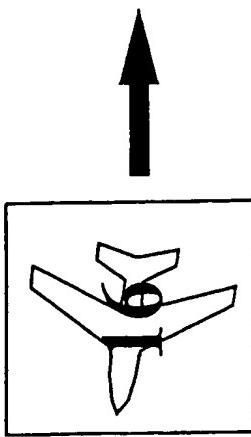
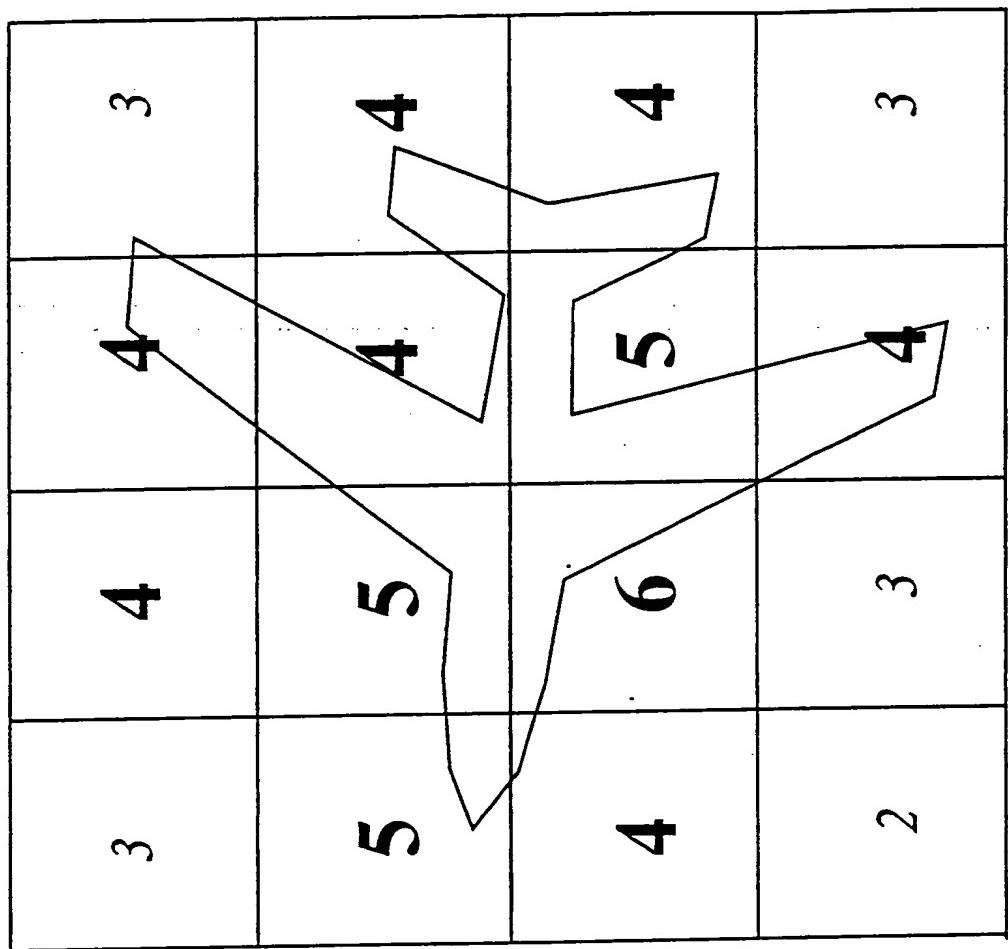
Figure 1b



519 089

9001-05-12

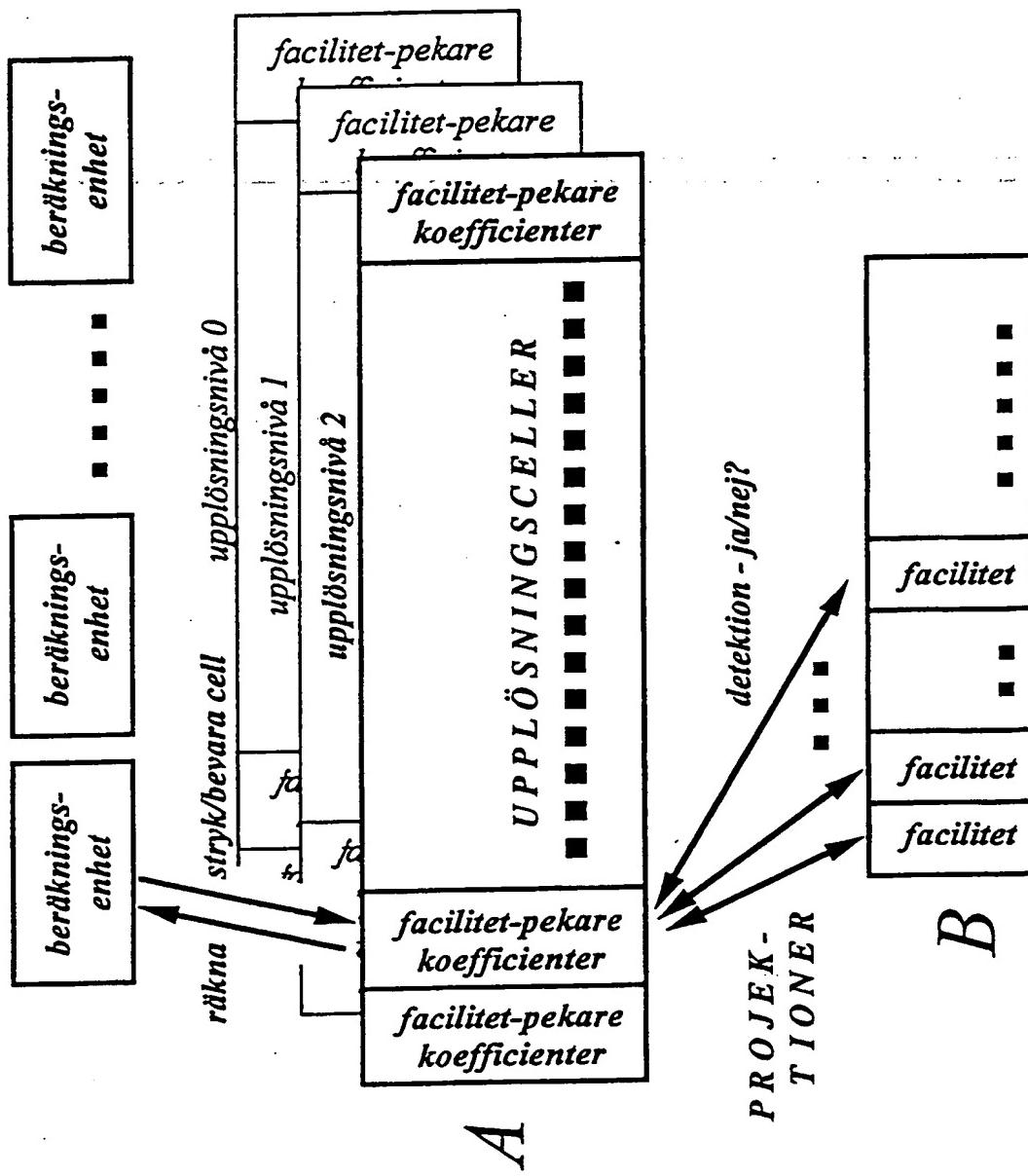
Figur 1c



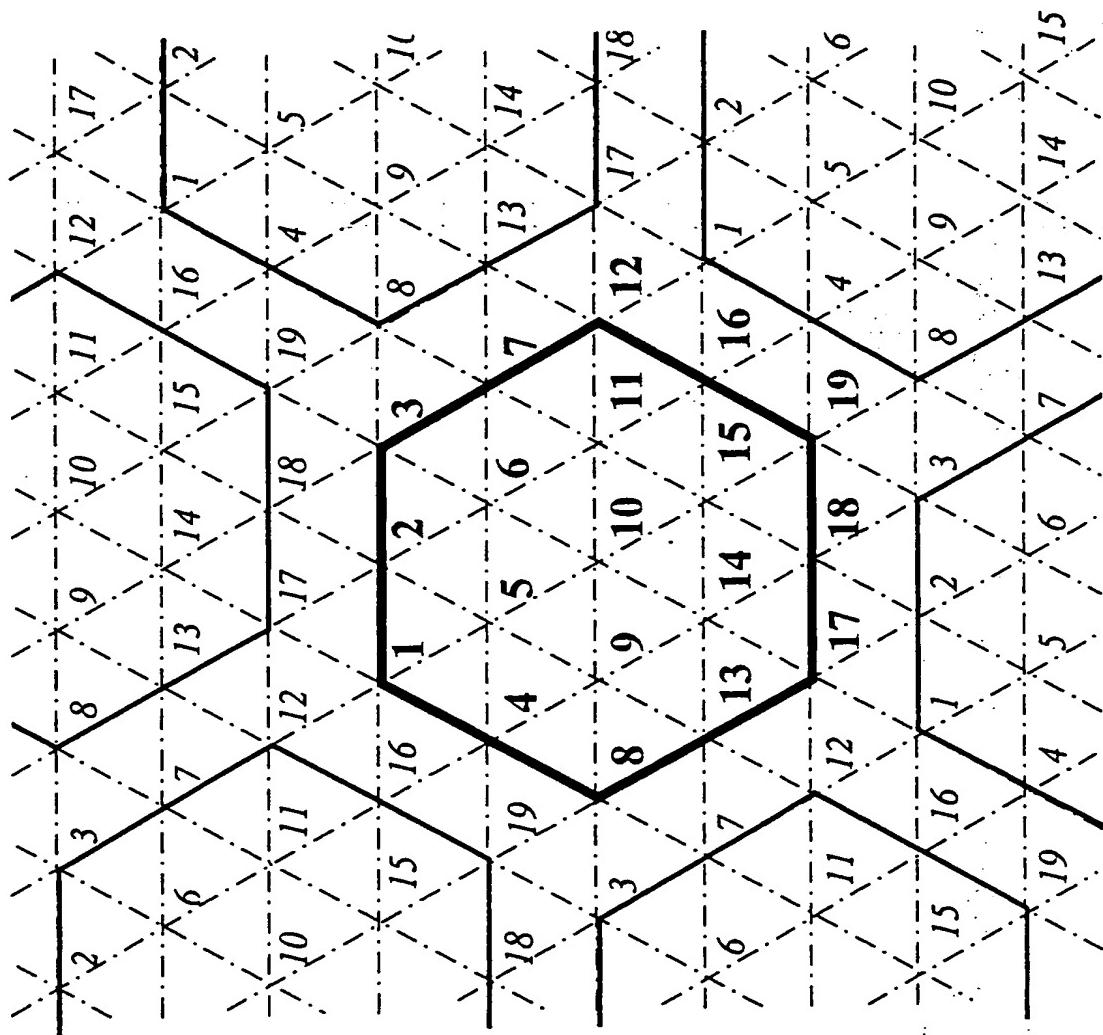
Cell A - slutlig  
grovpositionering

Celler B - finpositionering

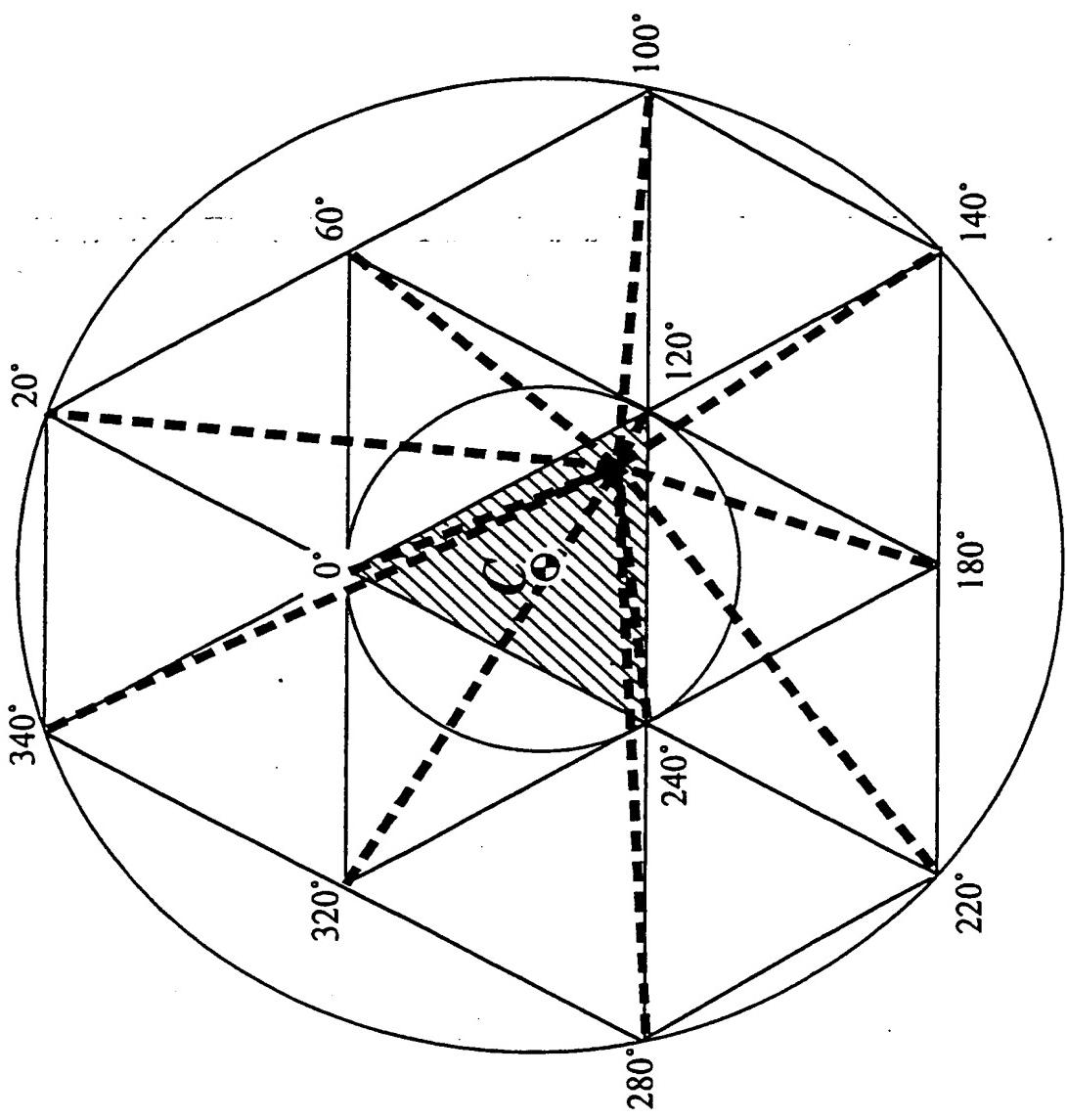
Figur 2



Figur 3



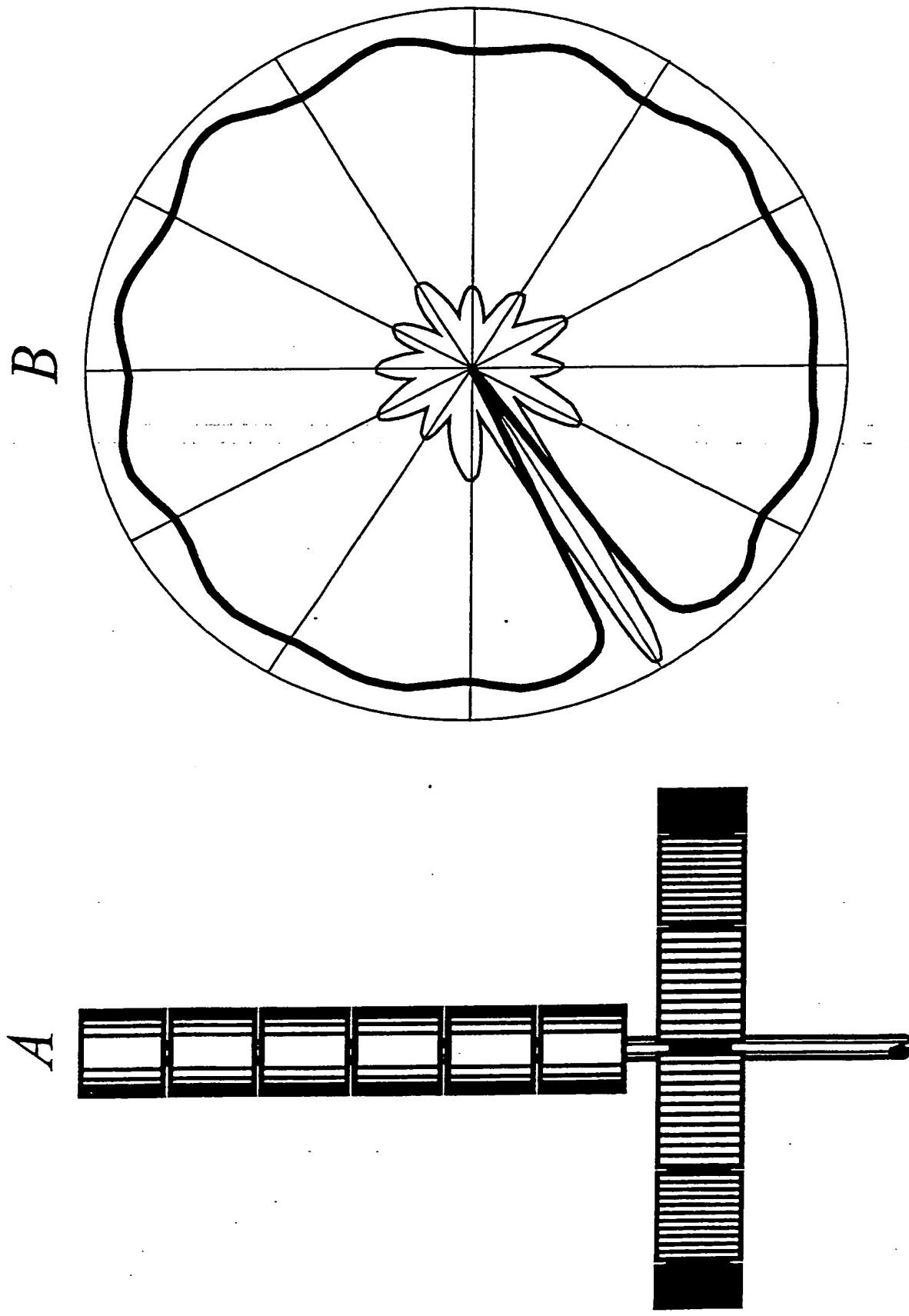
Figur 4



519 089

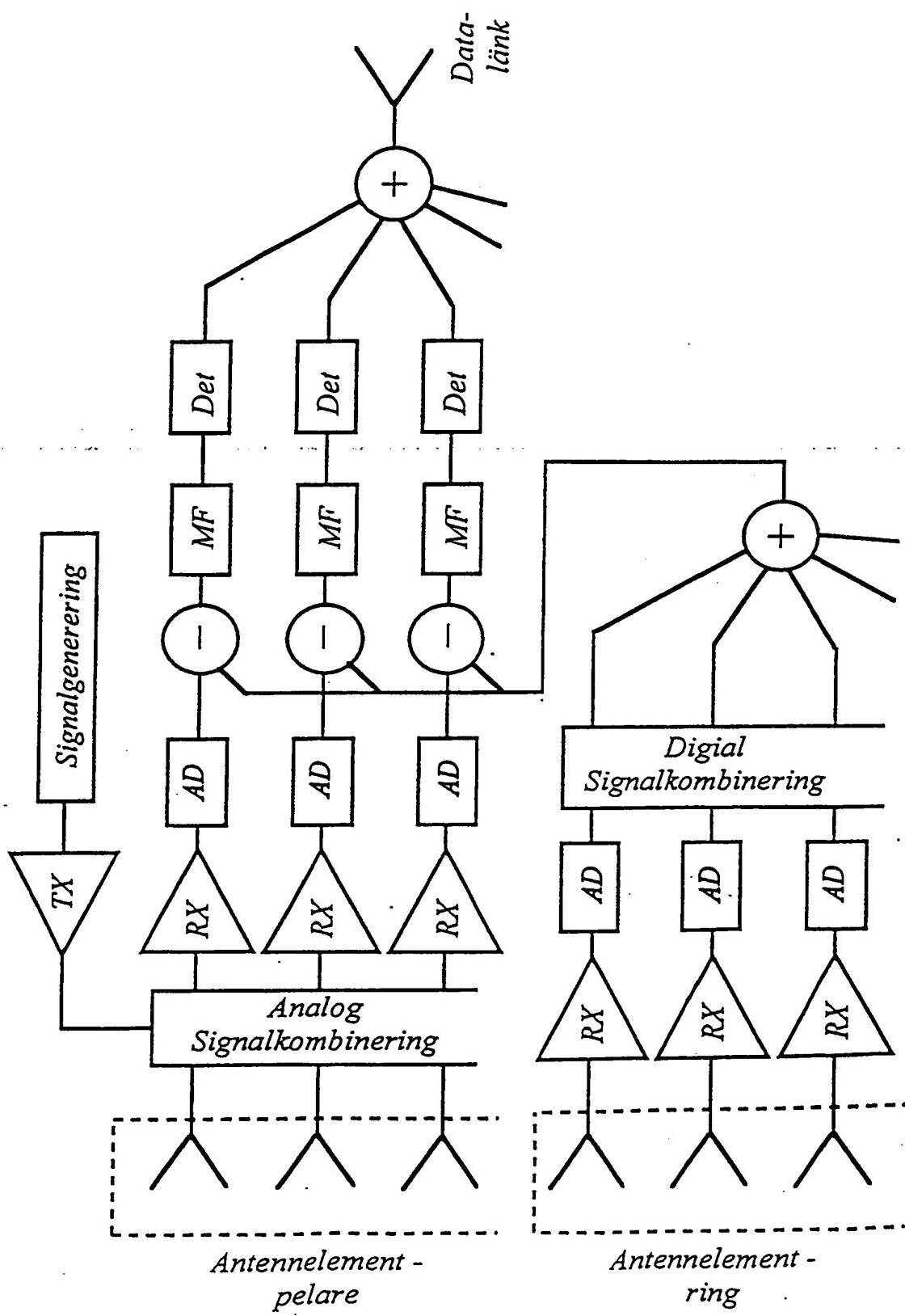
900105.11

Figure 5



519 089

Figur 6





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**